PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 6 — 15. März 1936. Redaktionsschluß für Nr. 8 am 1. April 1936. — 37. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

A. Scheibe und U. Adelsberger, Schwankungen der astronomischen Tageslänge und der astronomischen Zeitbestimmung nach den Quarzuhren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Meßergebnisse II. S. 185.

F. Běhounek, Zwei neue Apparate zur unmittelbaren Bestimmung des in Wasser und in Luft enthaltenen Radons. S. 203.

J. Barnóthy und M. Forró, Impulszähler für rasch aufeinanderfolgende Impulse. S. 208.

W. Mächler, Zur Druck- und Temperaturabhängigkeit des Wiedervereinigungskoeffizienten und der Ionisation durch Gammastrahlen in Luft und Kohlensäure. S. 211.

F. Trey, Die Zerstörung einer adsorpierten Sperrschicht durch Druck. S. 213.

K. Gentner und W. Rollwagen, Die Tiefenverteilung der Energieabsorption von Kathodenstrahlen in Aluminium. S. 214.

Besprechungen:

E. U. Condon and G. H. Shortley, The Theory of Atomic Spectra. S. 215.

E. Kleinschmidt, Handbuch der meteorologischen Instrumente und ihrer Auswertung. S. 215.

F. Trendelenburg, Klänge und Geräusche. S. 216.

Nachrichten. S. 216.

ABHANDLUNGEN.

Schwankungen der astronomischen Tageslänge und der astronomischen Zeitbestimmung nach den Quarzuhren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Meßergebnisse II.

Von A. Scheibe und U. Adelsberger.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Einleitung.

1. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt besitzt 4 Quarzuhren, die als Quarzuhren I, II, III, IV bezeichnet sind. Von diesen Uhren werden die Quarzuhren I und II seit dem Jahre 1932, die Quarzuhr III seit dem Jahre 1933 als Frequenz- und Zeitmaße verwendet, während die Quarzuhr IV meistens nur als Versuchsuhr zum Studium der Beeinflussungsmöglichkeiten von Frequenz und Gang dient.

Über die bis zum Jahresschluß 1932 vorliegenden Ergebnisse der Gangbestimmung an den Quarzuhren I und II haben wir bereits berichtet[1]). In der folgenden Arbeit soll dieser Bericht fortgesetzt und auf die Ergebnisse der Gangbestimmung an der Quarzuhr III erstmalig ausgedehnt werden. Der Bericht[2]) wird mit dem Stand unserer Messungen im Sommer 1935 abgeschlossen.

Die Ergebnisse der Gangbestimmung an der Quarzuhr III dürften hierbei von besonderem Interesse sein, da diese Uhr seit Herbst 1933 über Leitungen täglich $11^h\,30^m$ Zeitsignale an die Deutsche Seewarte in Hamburg und täglich dauernd Normalfrequenzen an drei Großfirmen und an das Reichspostzentralamt in Berlin abgibt. Diese Verwendung der Quarzuhr III als öffentliches Zeit- und Frequenzmaß veranlaßte uns, zur Erzielung einer möglichst langen, ungestörten Betriebsperiode von Eingriffen in der Strombelieferung und in den Schaltungen der Uhr III auch dann abzusehen, wenn wir nach Versuchen an den anderen Uhren, insbesondere an der Versuchsuhr IV, Verbesserungen in der Gangkonstanz erwarten durften.

2. Wir werden zeigen, daß sich die Quarzuhren nicht nur über kurze Zeiten von wenigen Tagen, sondern auch über sehr lange Zeiträume bewähren, so daß es durchaus möglich ist, mit Hilfe der Quarzuhren den experimentellen Nachweis von Schwankungen des astronomischen Zeitmaßes in Angriff zu nehmen. Mit diesem Resultat beweisen wir auch, daß die aus amerikanischen Quellen stammende Ansicht, wonach Quarzuhren über lange Zeiträume den Pendeluhren unterlegen wären, für die Quarzuhren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt nicht zutrifft.

Wir werden uns ferner mit Rechnungen von N. Stoyko[1]) auseinandersetzen, der für die

1) A. Scheibe und U. Adelsberger, Ann. d. Phys. **18**, 1, 1933 (Meßergebnisse I).

2) Eine kurze Mitteilung hierüber erfolgte bereits in der Physik. Zeitschr. **37**, 38, 1936; ebenso wurde in der Sitzung der Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik am 4. Januar 1936 über diesen Bericht vorgetragen.

1) N. Stoyko, Ann. fr. de Chronom. p. 221, 1934.

Gangschwankungen der Quarzuhren und für den Aufnahmefehler der zum Anschluß an das Zeitzeichen benutzten Aufnahmeapparatur Beträge errechnet, die mit unseren Ergebnissen unvereinbar sind. Wir werden uns jedoch nicht mit der Widerlegung von Bemerkungen N. Stoykos über die Kompliziertheit der Quarzuhren beschäftigen; denn abgesehen davon, daß sich die Wartung der Quarzuhren im allgemeinen auf ein tägliches Ablesen von Kontrollinstrumenten beschränkt, wäre auch ein Zutreffen seiner Bemerkung der Brauchbarkeit der Quarzuhren in keiner Weise abträglich, denn es wird überall als selbstverständlich in Kauf genommen, daß ein genaueres Meßinstrument etwas schwieriger als ein ungenaueres zu handhaben ist.

Meßmethode.

3. Die in der Quarzuhr vorhandene Kombination von Zeit- und Frequenzapparatur gestattet die Gangbestimmung auf zweierlei Art auszuführen:

a) Der mittlere tägliche Gang $\overline{G}$ wird aus einer Reihenfolge aufeinanderfolgender Standbestimmungen der Quarzuhr nach dem Nauener Koinzidenzzeichen um 13 Uhr 1 Minute MEZ. unter Anbringung der von den Zeitinstituten bekanntgegebenen Verbesserungen ermittelt.

b) Der mittlere tägliche Gang $\overline{G}$ einer Uhr wird mittels der „momentanen" täglichen Gangänderung Δ dieser Uhr gegen eine zweite Uhr aus dem Gang der zweiten Uhr abgeleitet.

4. In der Durchführung der Messung nach a) unterscheiden sich die Quarzuhren nicht von den Pendeluhren. Der mittlere tägliche Gang $\overline{G}$ ist um so genauer bestimmbar, je größer die Reihenfolge der aufeinanderfolgenden Standbestimmungen und je kleiner der Fehler der von den Zeitinstituten mitgeteilten Verbesserungen ist. Wir haben für diese Veröffentlichung die Gänge aus Reihenfolgen von Standbestimmungen von 30 Tagen ausgerechnet, da man bei einer solchen Intervallänge damit rechnen darf, daß der Einfluß der gegenseitigen Schwankungen der Verbesserungen der Zeitinstitute auf den Gangwert den Betrag von $\pm$ 0,001 sec nicht übersteigen wird, während der Einfluß eines täglichen mittleren Aufnahmefehlers von $\pm$ 0,001 sec unserer Zeitzeichenapparatur auf das 30tägige Mittel völlig verschwindet. Die 30tägige Reihenfolge der Gangbestimmung läuft stets vom 1. zum 30. bzw. 11. zum 10. und 21. zum 20. eines Monats bzw. zweier aufeinanderfolgender Monate. Wir erhalten damit für den Zeitraum eines Kalendermonats Mittelwerte für seinen 5., 15. und 25. Tag.

5. Bedeutet die Durchführung der Messung nach a) den Absolutanschluß der Quarzuhr an die astronomisch bestimmte Zeit, so bedeutet die Messung nach b) den Bezug einer Quarzuhr auf eine andere.

Den Begriff der „momentanen" täglichen Gangänderung Δ haben wir in einer früheren Arbeit[1]) eingeführt und dort eingehend besprochen. Die „momentane" tägliche Gangänderung ist gleich der Gangdifferenz, um die eine Uhr gegen eine andere Uhr auf Grund des Ergebnisses einer kurzzeitigen Messung ihren täglichen Gang ändern würde, wenn die zur Gangänderung führende Ursache während 24 Stunden bestehen bliebe. Die „momentane" tägliche Gangänderung wird aus der Änderung δf der Differenz Δf der von den beiden Quarzuhren gelieferten 10000 Hz-Normalfrequenzen f_m, die während einer kurzzeitigen Messung hochfrequenzmäßig miteinander verglichen werden, bestimmt. Ist $\frac{\delta f}{f_m}$ die prozentische Änderung der Differenz der Normalfrequenzen f_m zweier Quarzuhren, so ergibt sich daraus die „momentane" tägliche Gangänderung zu $\Delta = -\frac{\delta f}{f_m} \cdot 86400$. Dieses Meßverfahren gestattet, da die Differenzen der Normalfrequenzen unserer Quarzuhren sehr klein sind, die „momentane" tägliche Gangänderung bereits in Meßzeiten von 6 Minuten und weniger mit einer Genauigkeit von $\pm$ 0,0001 sec zu ermitteln.

Da im allgemeinen die Messungen der „momentanen" täglichen Gangänderungen zwischen mehr als 2 Quarzuhren von uns zur laufenden Überwachung vorgenommen werden, so ist es meist möglich, aus den Werten der „momentanen" täglichen Gangänderungen Δ sämtlicher Uhren die Quarzuhr zu eliminieren, die seit dem Zeitpunkt der vorherigen Messung von Δ ihren Gang änderte[2]). Dieses Verfahren läßt z. B. bei Unregelmäßigkeiten im Betrieb einer Quarzuhr sofort die unter Umständen damit verbundene Gangänderung erkennen, so daß es möglich ist, die nach a) einmal bestimmten absoluten Gänge zum Zwecke der Extrapolation, d. h. für Zeitbestimmungen zu Zeiten, in denen noch gar keine Verbesserungen des Nauener Zeitzeichens seitens der Zeitinstitute vorliegen können, ohne Anschluß an die astronomische Zeit auf dem wahrscheinlich richtigen Wert zu halten. Ein Verfahren, in dem die Überlegenheit der Quarzuhren über Pendeluhren sehr sinnfällig zum Ausdruck kommt, da bei Pendeluhren infolge mangelnder Konstanz des einzelnen Sekundenschlages und zu großen Betrages der

1) A. Scheibe und U. Adelsberger, a. a. O.
2) Siehe z. B. Kurvenverlauf II/III der Abb. 3.

Zeiteinheit (1 sec gegenüber $^1/_{10000}$ sec bei der Quarzuhr) eine Meßgenauigkeit des täglichen Ganges von $\pm$ 0,0001 sec bei kurzzeitigen Messungen von Gangdifferenzen überhaupt nicht erreichbar ist.

Allgemeines über das Verhalten der Quarzuhren I–III.

6. Die für den gesamten Beobachtungszeitraum vom 1. Januar 1933 bis 31. Mai 1935 aus den 30tägigen Reihenfolgen ermittelten mittleren täglichen Gänge $\overline{G}$, d. h. die gemessenen und nach den Zeitinstituten verbesserten Gangwerte sind für Quarzuhr I–III in Tabelle 1–3, Spalte 3–5 eingetragen und in Abb. 1 eingezeichnet. Da der Betrag des Ganges selbst bedeutungslos und nur die Kenntnis seiner Änderung von Wichtigkeit ist, so haben wir in Abb. 1 die Beträge eingezeichnet, die übrig bleiben, wenn man die Gänge jeder Quarzuhr um einen für jede Quarzuhr besonderen, aber über den gesamten Zeitraum konstanten Betrag verkleinert (s. auch Abschnitt 18 und 19). Abb. 1 läßt also hauptsächlich die Änderung der Gänge erkennen.

7. Hinsichtlich der Betriebsperioden und des allgemeinen Gangverlaufes zeigt sich folgendes:

a) Die Quarzuhr I ist vom 1. Januar 1933 bis Oktober 1933 in Betrieb gewesen; für diese Zeit ergibt sich ein deutliches Minimum des Ganges im Monat April/Mai. Die Uhr ist nach einer längeren Betriebspause ab Oktober 1933 im Mai 1934 wieder in Betrieb genommen worden und ist bei Abschluß dieser Arbeit noch in Betrieb. Der Gang zeigt während dieser zweiten Beobachtungsperiode ein Gangmaximum etwa im August 1934.

Die Außerbetriebsetzung der Uhr im Oktober 1933 erfolgte zwecks Umbaues des inneren Thermostaten, da Vorversuche an der Uhr III dies wünschenswert erscheinen ließen. Den Anlaß zur Außerbetriebnahme gab die seit August 1933 vermutete und im Oktober 1933 bei einer Öffnung der Uhr bestätigte Tatsache, daß das die innere Temperatur von 36° C regelnde Kontaktthermometer an einer seiner beiden Platineinschmelzungen zersprungen war.

b) Die Quarzuhr II ist ebenfalls vom 1. Januar 1933 bis Oktober 1933 in Betrieb gewesen; auch sie zeigt in dieser Betriebsperiode ein deutliches Gangminimum im Monat Mai. Die Uhr ist wie die Uhr I im Oktober 1933 außer Betrieb gesetzt und im Mai 1934 wieder in Betrieb genommen worden; sie zeigt wie diese in der zweiten Beobachtungsperiode ein Gangmaximum im Juli/August 1934. Die Außerbetriebsetzung im Oktober erfolgte gleichfalls zwecks Umbaues des inneren Thermostaten.

c) Die Quarzuhr III ist nach einigen Vorversuchen erstmalig im Juni 1933 in Dauerbetrieb genommen worden. Die Uhr zeigt während des Jahres 1933 eine monatliche Gangabnahme von etwa 0,003 sec. Im Dezember 1933 tritt eine deutliche Verlangsamung dieser Gangabnahme ein; ab Januar 1934 beträgt die monatliche Gangabnahme nur noch etwa 0,0006 bis 0,0002 sec.

In gleicher Weise wie bei den Uhren I und II ist für die Monate Juli/August 1934 ein Maximum des Ganges festzustellen.

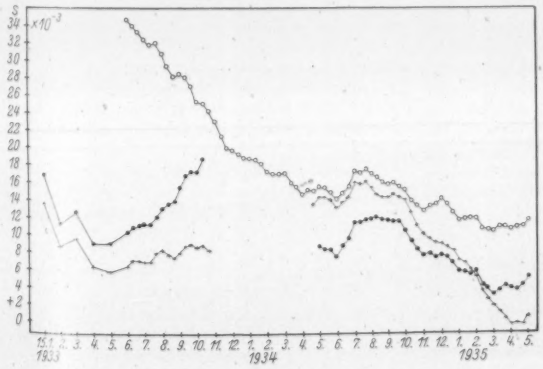


Abb. 1. Gemessene, nach den Zeitinstituten verbesserte Gänge $\overline{G}$.
●●●● Quarzuhr I; ++++ Quarzuhr II; ○○○○ Quarzuhr III.

Die Gänge der Quarzuhr III.

8. Infolge der in Abschnitt 1 näher begründeten Vermeidung von Eingriffen ist die Quarzuhr III diejenige geworden, die in einer ununterbrochenen Betriebszeit von mehr als 24 Monaten ungestört den größten Teil des gesamten Beobachtungszeitraumes überbrückt. Es ist daher zweckmäßig, zuerst den Gangverlauf dieser Uhr zu studieren und dann – sollte sich eine einfache Gesetzmäßigkeit im Gangablauf ergeben – die Uhren I und II zur Bestätigung der Resultate heranzuziehen. Hierbei soll durch Anschluß der Uhren I und II im Jahre 1933 an die Uhr III versucht werden,

ein lückenloses Bild über die gesamte Zeitbestimmung ab 1. Januar 1933 zu gewinnen.

Betrachten wir zuerst die Verhältnisse ab Mai 1934, d. h. von dem Zeitpunkt ab, an dem auch I und II zur Zeitbestimmung wieder zur Verfügung standen, ohne dabei allzusehr die von Monat zu Monat aufgezeichneten kurzfristigen Gangschwankungen zu berücksichtigen, so finden wir für diese Zeit eine allmähliche Gangabnahme. Man kann die tägliche Gangänderung Δg einer Quarzuhr in erster Annäherung als unabhängig von der Zeit ansetzen, woraus sich dann für den täglichen Gang g_t zu einer beliebigen Zeit t die Beziehung

$$g_t = g_0 + \Delta g \cdot t, \qquad (1)$$

wobei g_0 den Anfangsgang bezeichnet, ergibt. Setzen wir in dieser Gleichung für g_0 den mittleren täglichen Gang $\overline{G}_0$ der ersten 30tägigen Reihenfolge und für Δg den Wert $\Delta \bar{g}$ als Betrag der Gangänderung von Reihenfolge zu Reihenfolge, so ergibt sich aus Gleichung (1) für den mittleren täglichen Gang $\overline{G}_n$ der $n$ten Reihenfolge der Wert

$$\overline{G}_n = \overline{G}_0 + \Delta \bar{g} \cdot n. \qquad (2)$$

Da nach Abschnitt 4 die Mittelpunkte der 30tägigen Reihenfolgen um 10 Tage auseinanderliegen, so ist $\Delta \bar{g}$ der Gangänderungsbetrag für einen Zeitraum von 10 Tagen. Durch Division mit 10 oder Multiplikation mit 3 errechnen sich daraus die täglichen oder monatlichen Gangänderungsbeträge. Entsprechend den uhrentechnischen Gepflogenheiten bezeichnen wir das Verhalten der Quarzuhr bei positivem Δg mit Retardation, bei negativem mit Akzeleration.

Eine Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate ergibt bei Benutzung der vom 1. Mai 1934 bis 10. Juni 1935 gemessenen Gänge $\overline{G}$ für die Konstanten $\overline{G}_0$ und $\Delta \bar{g}$ der Gleichung (2) die Werte $+0{,}23725$ sec und $-0{,}000189$ sec/10d, d. h. die Quarzuhr III zeigte in dieser Beobachtungsperiode eine tägliche Akzeleration von 0,0000189 sec/d und eine monatliche Akzeleration von 0,000567 sec/m.

Die mit dem Anfangsgang $\overline{G}_0 = 0{,}23725$ sec und der 10tägigen Akzeleration $\Delta \bar{g} = -0{,}000189$ sec berechneten mittleren Gänge $\overline{G}_n$ entsprechen den gemessenen Gängen $\overline{G}$ dieses Zeitraumes im allgemeinen bis auf wenige Tausendstel Sekunden. Aus ihnen läßt sich für den 30tägigen Mittelwert $\overline{G}$ eine mittlere zufällige Schwankung von $\pm 0{,}0011$ sec berechnen, falls man den gesamten Betrag der Schwankung ohne Rücksicht auf die Ergebnisse von Abschnitt 22 auf die Quarzuhr allein schiebt.

9. Für die Zeitspanne vom 1. Januar 1934 bis zum 30. April 1934 empfiehlt sich wegen der geringen Anzahl gemessener $\overline{G}$-Werte eine Durchführung der Ausgleichsrechnung nach Gleichung (2) nicht. Dagegen zeigt die Rückwärtsextrapolation des Ganges vom 1. Mai 1934 zum 1. Januar 1934 mit den nach Gleichung (2) im Abschnitt 8 bestimmten Werten $\overline{G}_{15.\,\mathrm{Mai}} = +0{,}2373$ sec und $\Delta \bar{g} = -0{,}000189$ sec/10d, daß auch für diese Beobachtungsperiode die Differenzen $\overline{G} - \overline{G}_n$ wenige Tausendstel Sekunden nicht überschreiten. Danach ist mit großer Wahrscheinlichkeit gezeigt, daß für die Zeitspanne vom 1. Januar bis zum 30. April 1934 die gleiche Akzeleration wie ab 1. Mai 1934 den Gangverlauf der Quarzuhr III bestimmt.

10. Wie wir bereits in Abschnitt 7 (c) kurz erwähnten, hat die Quarzuhr III Ende Dezember 1933 ihre Akzeleration geändert. Diese Akzelerationsänderung $\delta \Delta \bar{g}$, die jetzt nach Vorliegen der absoluten Gangbestimmung $\overline{G}$ deutlich aus Abb. 1 hervorgeht, wurde bereits um die Jahreswende 1933/34 durch die fortlaufenden Messungen der „momentanen" Gangdifferenzen Δ erkannt. Als Vergleichsuhr diente damals die Versuchsuhr IV. Über die Ursache der Änderung lassen sich Angaben nicht machen. Nach allen bisherigen Erfahrungen dürfte es sich um einen Einlaufseffekt der Quarzuhr III handeln. Versuche, die wir zur Klärung dieser Frage an der Versuchsuhr IV und an anderen Versuchsuhren eingeleitet haben, lassen erkennen, daß die ursprünglichen Akzelerationen frisch eingeschalteter Uhren nach einer gewissen Zeit fast unvermittelt innerhalb eines sehr kurzen Zeitraumes in eine kleinere Akzeleration übergehen. Über die Ergebnisse dieser Versuche soll an anderer Stelle berichtet werden.

11. Um die Gangverhältnisse der Quarzuhr III trotz dieses Akzelerationssprunges unter einheitlichem Gesichtspunkt betrachten zu können, ist es nötig, den Betrag der Akzelerationsänderung $\delta \Delta \bar{g}$ möglichst genau zu bestimmen und zu sehen, ob nach Anbringung von $\delta \Delta \bar{g}$ an den im Jahre 1933 gemessenen Gängen $\overline{G}$ als Korrektur eine einzige Ausgleichung nach Gleichung (2) über den gesamten Beobachtungsraum vom 1. Juni 1933 bis 31. Mai 1935 möglich wird.

Zur Bestimmung des Betrages von $\delta \Delta \bar{g}$ nehmen wir an, daß sich auch vor dem Monat Dezember die Gänge entsprechend der Funktion (2) ändern. Es läßt sich dann graphisch oder rechnerisch die Differenz $\delta \Delta \bar{g} = \Delta \bar{g}_{1933} - \Delta \bar{g}_{1934}$ ermitteln. Wir fanden nach verschiedenen Verfahren weitgehend übereinstimmend für $\delta \Delta \bar{g}$ den Betrag $-0{,}0007$ sec/10d, d. h. die Akzeleration war im Jahre 1933 um diesen Betrag

größer als im Jahre 1934. Verringert man um diesen Betrag von Ende Dezember 1933 nach Juni 1933 entsprechend der Funktion (2) die gemessenen Gänge $\overline{G}$, so erhält man die in Spalte 5a, Tabelle 1 eingetragenen rechnerischen Werte $\overline{\overline{G}}$, deren Verlauf im Jahre 1933 ebenfalls durch die Akzeleration $\Delta\bar{g}_{1934}$ bestimmt sein muß.

12. Um diese Folgerung zu prüfen, haben wir nach der Methode der kleinsten Quadrate über die Gänge $\overline{\overline{G}}$ des Jahres 1933 und über die seit Januar 1934 gemessenen Gänge $\overline{G}$ eine Gesamtausgleichung nach Gleichung (2) vorgenommen. Diese ergibt für den Anfangsgang $\overline{G}_0$ vom 15. Juni 1933 den Betrag von 0,2431 sec und für die Gangänderung $\Delta\bar{g}$ den Wert 0,000194 sec/10d. Ausgeglichener Anfangsgang $\overline{G}_0$ und korrigierter gemessener Anfangsgang $\overline{\overline{G}}$ vom 15. Juni 1933 unterscheiden sich nach Tabelle 1 nur um — 0,0021 sec. Die Akzeleration der Gesamtausgleichung im Betrage von 0,000194 sec/10d ist mit jener der Teilausgleichung nach Abschnitt 8 im Betrag von 0,000189 sec/10d identisch. Eine Aufrundung dieser beiden Akzelerationsbeträge ergäbe den gemeinsamen Wert — 0,0002 sec/10d; wir würden durch diese Aufrundung nur einen außer acht zu lassenden geringfügigen Fehler, der bei einer Beobachtungsreihe von 700 Tagen den Endgang um höchstens 0,0004 sec fälscht, begehen.

Über die Ursache der stetigen Gangabnahme von 0,00002 sec/d ist zur Zeit eine eindeutige Aussage unmöglich. Wir nehmen vorläufig an, daß diese Gangabnahme auf allmähliche Änderungen elektrischer Daten der Quarzuhr selbst zurückzuführen ist.

Die Bedeutung von Quarzuhr III für Zeitbestimmung und Frequenzmessung.

13. Die Ausgleichungen nach Abschnitt 12 und nach Abschnitt 8 und 9 haben also ergeben, daß die Quarzuhr III ihren täglichen Gang in der Zeit vom 1. Juni 1933 bis 31. Dezember 1933 um 0,00009 sec/d und in der Zeit vom 1. Januar 1934 bis 30. Mai 1935 um 0,00002 sec/d verkleinert hat. Diesen Akzelerationen entspricht eine gesamte Gangverkleinerung um 0,019 + 0,010 = 0,029 sec in einer Beobachtungszeit von 720 Tagen.

Wie außerordentlich klein die tägliche Gangabnahme ab Januar 1934 ist, kann man z. B. daraus ersehen, daß ihr in der Zeit vom 1. Januar bis 31. Dezember 1934 ein Vorgehen der Quarzuhr III um nur 1,3 sec entspricht. Die mittlere Länge ihrer als Zeitzeichen gelieferten Sekundenintervalle hat sich im Laufe dieses Jahres um $8 \cdot 10^{-8}$ sec verkleinert.

Für die Verwendung der Quarzuhr III als Frequenznormal bedeuten die Akzelerationen von 0,00009 sec/d bzw. 0,00002 sec/d, daß während der zugehörigen Beobachtungszeit ihre Normalfrequenzen um etwa $9 \cdot 10^{-10}$ bzw. $2 \cdot 10^{-10}$ ihres Betrages täglich größer geworden sind. Hieraus ergibt sich, daß die auswärtigen Bezieher der 1000-Hz-Normalfrequenz der Quarzuhr III eine Normalfrequenz zugeleitet bekamen, die sich in der Zeit vom 1. Juni bis 31. Dezember 1933 um $2{,}2 \cdot 10^{-7}$ ihres Betrages, d. h. um 0,00022 Hz, und in der Zeit vom 1. Januar 1934 bis 30. Mai 1935 um $1{,}2 \cdot 10^{-7}$ ihres Betrages, d. h. um 0,00012 Hz vergrößerte.

Wir haben mit dem Anfangsgang

$$\overline{G}_0 = 0{,}2431 \text{ sec}$$

und der Akzeleration

$$\Delta\bar{g} = -0{,}000194 \text{ sec}/10d$$

die Gänge ab 1. Juni 1933 für die Quarzuhr III berechnet und ihre Werte in Spalte 6 der Tabelle 1–3 eingetragen. Zwischen den berechneten Gängen dieser Spalte und den gemessenen Gängen der Spalte 5 bzw. 5a ergeben sich, Spalte 7, Gangdifferenzen, die im Maximum zwischen + 0,0025 und — 0,0025 sec liegen. Aus diesen Differenzen errechnet sich eine mittlere zufällige Schwankung für den Einzelwert des Ganges — wieder unter der Annahme, daß die gesamten Schwankungen im Gegensatz zu den Ergebnissen des Abschnittes 22 allein auf die Quarzuhr zurückzuführen sind — im Betrage von ± 0,0013 sec; dies bedeutet, daß eine Extrapolation mit diesem Werte $\Delta\bar{g}$ die Gänge bis auf den Betrag von ± 0,001 sec und die Normalfrequenzen der Quarzuhr bis auf $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ ihres Wertes richtig voraus zu berechnen gestattet.

Die Gänge der Quarzuhren I und II.

14. Da die Quarzuhren I und II nach Abschnitt 7 während des gesamten Beobachtungszeitraumes von 24 Monaten etwa 6 Monate außer Betrieb waren, so läßt sich in einfacher Weise eine ähnliche Gesamtausgleichung, wie sie mit Erfolg für die Quarzuhr III durchgeführt wurde, nicht vornehmen. Wohl aber kann man daran denken, Teilausgleichungen über die beiden getrennten Beobachtungsräume vom Januar bis Oktober 1933 und vom Mai 1934 bis Mai 1935 durchzuführen. Hierbei würde wiederum besonders die Ausgleichung über die Zeit vom Mai 1934 bis Mai 1935 interessieren, da dies der Zeitraum ist, der auch von Quarzuhr III überdeckt wird, so daß für diese Zeit eine voneinander unabhängige Ausgleichung dreier Quarzuhren besondere Einblicke in die Genauigkeit der Zeitbestimmung erhoffen läßt.

15. Die Ausgleichung wurde über die gemessenen Gänge nach der Methode der kleinsten Quadrate in gleicher Weise durchgeführt, wie es für denselben Zeitraum bei Quarzuhr III in Abschnitt 8 bereits besprochen worden ist. Wir erhielten folgende Werte:

Quarzuhr I: $\overline{\gamma_0} = +4{,}9519$ sec;
$\Delta\bar{g} = -0{,}00021$ sec/10d.

Quarzuhr II: $\overline{\gamma_0} = +4{,}0833$ sec;
$\Delta\bar{g} = -0{,}00051$ sec/10d.

Im Vergleich zu den Werten der Uhr III — Abschnitt 8 —, ergibt sich für die Quarzuhr I fast die gleiche Akzeleration, für die Quarzuhr II dagegen die $2^1/_2$fache Akzeleration. Beides bestätigt schon eine oberflächliche Betrachtung der Kurvenzüge in Abb. 1 ab Mai 1934. Die Quarzuhr I verläuft mit ihren Gängen nahezu parallel zu Quarzuhr III, während Quarzuhr II besonders ab Oktober 1934 mit den Gängen stärker als Quarzuhr III abfällt.

Von wesentlichem Interesse ist auch bei dieser Ausgleichung, zu wissen, wieweit gemessene und ausgeglichene Gänge übereinstimmen. Wir haben daher ebenfalls die Differenzen: gemessener Gang – berechneter Gang bestimmt. Die Differenzen ergeben, gemessen an den Resultaten der Quarzuhr III, etwas stärkere Schwankungen, und zwar zwischen + 0,0030 und — 0,0044 sec, deren Ursache im folgenden Abschnitt 16 besprochen wird.

Tabelle 1.

Datum 1933	Gemessene Gänge: Quarzuhr I $\overline{G}$	Quarzuhr II $\overline{G}$	Quarzuhr III $\overline{G}$	Korrigiert (Abschnitt 11 und 12) Quarzuhr III $\overline{\overline{G}}$	Berechneter Gang: Quarzuhr III $\overline{G}_B$	Differenz gemessener – berechneter Gang: Quarzuhr III
1 2	3	4	5	5a	6	7
	sec	sec	sec	sec	sec	sec
5. Januar						
15. „	5,0229	2,2437				
25. „						
5. Februar						
15. „	5,0173	2,2387				
25. „						
5. März						
15. „	5,0187	2,2397				
25. „						
5. April						
15. „	5,0152	2,2364				
25. „						
5. Mai						
15. „	5,0157	2,2359				
25. „						
5. Juni						
15. „	5,0176	2,2365	0,2547	0,2410	0,2431	—0,0021
25. „	5,0183	2,2372	0,2540	0,2410	0,2429	—0,0019
5. Juli	5,0179	2,2371	0,2533	0,2410	0,2427	—0,0017
15. „	5,0174	2,2370	0,2525	0,2409	0,2425	—0,0016
25. „	5,0173	2,2370	0,2519	0,2410	0,2423	—0,0013
5. August	5,0182	2,2380	0,2520	0,2418	0,2421	—0,0003
15. „	5,0191	2,2384	0,2509	0,2414	0,2419	—0,0005
25. „	5,0196	2,2378	0,2494	0,2406	0,2417	—0,0011
5. September	5,0199	2,2374	0,2481	0,2400	0,2415	—0,0015
15. „	5,0215	2,2380	0,2485	0,2411	0,2414	—0,0003
25. „	5,0229	2,2389	0,2481	0,2414	0,2412	+0,0002
5. Oktober	5,0233	2,2389	0,2470	0,2410	0,2410	0,0000
15. „	5,0233	2,2387	0,2454	0,2401	0,2408	—0,0007
25. „	5,0245	2,2387	0,2449	0,2403	0,2406	—0,0003
5. November		2,2383	0,2443	0,2404	0,2404	0,0000
15. „		2,2368	0,2431	0,2399	0,2402	—0,0003
25. „			0,2415	0,2390	0,2400	—0,0010
5. Dezember			0,2400	0,2382	0,2398	—0,0016
15. „			0,2398	0,2387	0,2396	—0,0009
25. „			0,2394	0,2389	0,2394	—0,0005

Tabelle 2.

Datum 1934	Gemessene Gänge Quarzuhr I	Quarzuhr II	Quarzuhr III	Berechneter Gang Quarzuhr III	Differenz gemessener – berechneter Gang Quarzuhr III
1	2	3	4	5	6	7
5. Januar				0,2389	0,2392	−0,0003
15. „				0,2388	0,2390	−0,0002
25. „				0,2387	0,2388	−0,0001
5. Februar				0,2382	0,2386	−0,0004
15. „				0,2374	0,2384	−0,0010
25. „				0,2370	0,2383	−0,0013
5. März				0,2371	0,2381	−0,0010
15. „				0,2371	0,2379	−0,0008
25. „				0,2360	0,2377	−0,0017
5. April				0,2356	0,2375	−0,0019
15. „				0,2347	0,2373	−0,0026
25. „				0,2352	0,2371	−0,0019
5. Mai				0,2351	0,2369	−0,0018
15. „	4,9488	4,0784	0,2356	0,2367	−0,0011
25. „	4,9484	4,0784	0,2355	0,2365	−0,0010
5. Juni	4,9484	4,0784	0,2349	0,2363	−0,0014
15. „	4,9479	4,0779	0,2341	0,2361	−0,0020
25. „	4,9488	4,0792	0,2348	0,2359	−0,0011
5. Juli	4,9496	4,0804	0,2356	0,2357	−0,0001
15. „	4,9515	4,0816	0,2373	0,2355	+0,0018
25. „	4,9515	4,0809	0,2372	0,2353	+0,0019
5. August	4,9518	4,0802	0,2375	0,2351	+0,0024
15. „	4,9519	4,0794	0,2370	0,2350	+0,0020
25. „	4,9521	4,0787	0,2366	0,2348	+0,0018
5. September	4,9518	4,0783	0,2360	0,2346	+0,0014
15. „	4,9518	4,0783	0,2358	0,2344	+0,0014
25. „	4,9517	4,0788	0,2360	0,2342	+0,0018
5. Oktober	4,9517	4,0785	0,2356	0,2340	+0,0016
15. „	4,9506	4,0781	0,2352	0,2338	+0,0014
25. „	4,9493	4,0765	0,2338	0,2336	+0,0002
5. November	4,9484	4,0751	0,2334	0,2334	0,0000
15. „	4,9477	4,0741	0,2327	0,2332	−0,0005
25. „	4,9479	4,0736	0,2333	0,2330	+0,0003
5. Dezember	4,9475	4,0731	0,2335	0,2328	+0,0007
15. „	4,9477	4,0730	0,2341	0,2326	+0,0015
25. „	4,9474	4,0726	0,2335	0,2324	+0,0011

Tabelle 3.

Datum 1935	Gemessene Gänge Quarzuhr I	Quarzuhr II	Quarzuhr III	Berechneter Gang Quarzuhr III	Differenz gemessener – berechneter Gang Quarzuhr III
1	2	3	4	5	6	7
5. Januar	4,9467	4,0722	0,2325	0,2322	+0,0003
15. „	4,9459	4,0711	0,2317	0,2320	−0,0003
25. „	4,9458	4,0708	0,2318	0,2318	0,0000
5. Februar	4,9455	4,0700	0,2319	0,2317	+0,0002
15. „	4,9459	4,0692	0,2319	0,2315	+0,0004
25. „	4,9442	4,0675	0,2307	0,2313	−0,0006
5. März	4,9438	4,0666	0,2305	0,2311	−0,0006
15. „	4,9431	4,0658	0,2304	0,2309	−0,0005
25. „	4,9437	4,0652	0,2309	0,2307	+0,0002
5. April	4,9441	4,0643	0,2309	0,2305	+0,0004
15. „	4,9439	4,0636	0,2306	0,2303	+0,0003
25. „	4,9440	4,0638	0,2308	0,2301	+0,0007
5. Mai	4,9450	4,0642	0,2315	0,2299	+0,0016
15. „	4,9450	4,0644	0,2314	0,2297	+0,0017

Ergebnis der Teilausgleichungen der Quarzuhren I, II, III für die Zeit vom 1. Mai 1934 bis 20. Mai 1935.

16. Um einen übersichtlichen Vergleich der Ergebnisse durchführen zu können, haben wir in Abb. 2 die nach Abschnitt 8 und 15 berechneten und auch teilweise in Tabelle 2 und 3 eingetragenen Differenzen: gem. Gang – ber. Gang graphisch zusammengestellt. Das, was wir sehen, ist:

1. Weitgehend gleicher Verlauf der Kurven dieser Differenzen; die Differenzen sind zuerst bei allen drei Uhren negativ, steigen dann sehr steil vom Juni zum Juli auf positive Werte an, bleiben positiv, fallen im Oktober auf den Wert von nahezu Null, verweilen darauf einige Monate in der Nähe der Nullinie, um zum Schluß der Beobachtungszeit etwas stärker zu divergieren; die Amplitude der Differenzen liegt zwischen $-0{,}0035$ sec im Juni und $+0{,}0025$ sec im Oktober.
2. Streuung der Differenzwerte gleichen Datums um etwa $\pm 0{,}001$ sec gegeneinander.

Zu 1. ist zu sagen, daß eindeutig der starke Ganganstieg im Juni und der Abfall im Oktober die Streugrenze nach 2. übersteigt. Damit bleibt zu erklären, auf welche Ursache diese beiden Gangverschiebungen zurückzuführen sind. Zwei Ursachen sind denkbar:

Fall a) Es wirkte auf die Uhren ein thermischer oder elektrischer Einfluß ein, der bei jeder Uhr die gleiche Gangverschiebung hervorrief.

Fall b) Es wirkte auf die Uhren kein gangändernder Einfluß ein, die Uhren sind also im Gang konstant geblieben, dann kann die scheinbare Gangverschiebung nur durch systematische Fehler in der Zeitbestimmung der astronomischen Institute verursacht sein, wobei die systematischen Fehler auf Änderungen der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde zurückgeführt werden könnten.

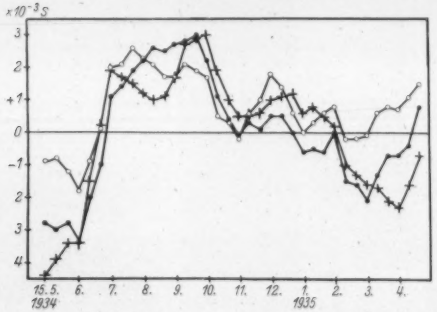


Abb. 2. Differenzen: gemessener – berechneter Gang; unabhängige Ausgleichung.
●●●● Quarzuhr I; ++++ Quarzuhr II;
○○○○ Quarzuhr III.

Eine Entscheidung zwischen den Fällen a) und b) soll in den folgenden Abschnitten getroffen werden.

17. Fall a) und Ausrichtung von Quarzuhr I und II nach Quarzuhr III. Betrachten wir zuerst den Fall a). Hierzu ist es unerläßlich, zu untersuchen, ob die nach Abschnitt 16, Punkt 2, vorhandene und aus Abb. 2 ersichtliche Streuung der Differenzen zwischen den Quarzuhren im Betrage von $\pm 0{,}001$ sec reell oder nur durch die Art der Ausgleichung bedingt ist.

Die Ausgleichung in Abschnitt 15 ist ohne Rücksicht darauf durchgeführt, ob die Uhren I und II etwa infolge irgendwelcher thermischer oder elektrischer Störungen Änderungen ihrer Gangänderungen erlitten haben. In Wirklichkeit sind nun Störungen aufgetreten, die fast durchweg auf den im Gegensatz zur Quarzuhr III verhältnismäßig hohen Temperaturkoeffizienten[1]) des täglichen Ganges der Quarzuhren I und II im Betrage von 0,0004 sec pro $0{,}001^\circ$ C zurückzuführen sind. Wenn sich auch zeigte, daß monatelang die Temperaturen mit Hilfe der beiden Kontaktthermometer bis auf $0{,}001^\circ$ C einwandfrei zu regeln waren, so trat doch einige Male ein in der Natur der von uns benutzten Kontaktthermometer begründetes unliebsames Versagen der Temperaturregelung ein. Verursacht wurde das Versagen dadurch, daß mehrmals Thermometer an der Platineinschmelzung in den Kapillaren zersprangen, und daß ebenfalls einige Male der Schaltpunkt des das 29° C-Niveau steuernden äußeren Thermometers durch entweder zu hohe Zimmertemperatur (28° C) im Sommer oder zu niedrige im Winter verändert wurde[2]).

1) A. Scheibe und U. Adelsberger, Zeitschr. f. Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik **43**, 37, 1934.

2) Wir haben inzwischen durch Wahl geeigneteren Thermometerglases, durch Verlegung der Platineinschmelzung aus der Kapillaren heraus in das Thermometergefäß und durch Erhöhung der Schalttemperatur der äußeren Kontaktthermometer auf 31° C uns gegen das Zerspringen der Thermometer und die Schaltpunktbeeinflussung durch zu hohe Zimmertemperatur schützen können. Gegen zu niedrige Zimmertemperatur schützt in den kritischen Zeiten eine Zusatzheizung.

Tage mit Gangstörungen waren im Zeitraum vom 1. Mai 1934 bis 20. Mai 1935 folgende: bei Quarzuhr I infolge Zerspringens des inneren Thermometers der 20. September 1934 und infolge einer Gangstörung unbekannter Art der 10. März 1935; bei Quarzuhr II infolge Schaltpunktveränderung des äußeren Thermometers der 20. Juli 1934, der 25./26. Dezember 1934, und infolge einer Gangstörung unbekannter Art der 1. November 1934 und der 8. April 1935.

18. Die Störungen sind sowohl mit Gangsprüngen, d. h. einmaligen Gangänderungen, als auch mit Änderungen $\delta\Delta\bar{g}$ der mittleren täglichen Gangänderungen verbunden gewesen. Soweit es sich um Gangsprünge handelte, konnten die Beträge sofort mit Hilfe der „momentanen" Gangdifferenzen Δ (s. Abschnitt 3 und 4) ermittelt werden. Abb. 3 stellt die beiden Kurven der „momentanen" Gangdifferenzen der Quarzuhren I und II gegen Quarzuhr III dar[1]). Es ergaben sich aus diesen Kurven der „momentanen" Gangdifferenzen folgende durch die Störungen verursachte Gangbeeinflussungen: bei Quarzuhr I ein Gangsprung von 0,5529 sec am 20. September 1934; bei Quarzuhr II ein Gangsprung von 0,0075 sec am 20. Juli 1934 und ein Gangsprung von 0,0036 sec am 25./26. Dezember 1934. Da die zahlenmäßige Größe des Ganges selbst nicht von Bedeutung ist, so haben wir um diese Werte der Sprünge die vor dem 20. September gemessenen Gänge der Uhr I und die vor dem 20. Juli und 25./26. Dezember gemessenen Gänge der Uhr II von vornherein für unsere Betrachtungen gehoben, damit die Gänge jeder Uhr auf gleichem Gangniveau lagen. Die in Abb. 1 eingezeichneten, in Spalte 3 und 4 der Tabelle 2 und 3 eingetragenen und bei der Ausgleichsrechnung des Abschnittes 15 verwendeten Gangwerte entsprechen diesen gehobenen Werten. Da die Beträge der Gangsprünge aus den der Abb. 3 zugrunde liegenden Messungen auf wenige Zehntausendstel Sekunden richtig ermittelt werden konnten, spielen die hierdurch auftretenden Fehler bei einer Ausgleichsrechnung nach Abschnitt 15 keine Rolle und liefern somit für die aus Abb. 2 ersichtlichen Schwankungen der Differenzen keinen Beitrag.

19. Die Beträge der mit den Störungen verbundenen Änderungen $\delta\Delta\bar{g}$ konnten ebenfalls aus den Registrierkurven der „momentanen" Gangdifferenzen Δ ermittelt werden. Abb. 3 läßt mittels der eingezeichneten Ausgleichsgeraden mit genügender Deutlichkeit erkennen, wie die Gangdifferenz I—III und II—III im Laufe der Zeit Änderungen erfährt. Die Auswertung der Kurven ergab mit sehr großer Genauigkeit das Datum der Akzelerationsänderungen $\delta\Delta\bar{g}$ der Quarzuhren I und II gegen die Quarzuhr III, so daß die den zwischen den Störungstagen liegenden Teilzeitintervallen zugehörigen Gangänderungsbeträge $\Delta\bar{g}$ von I und II gegen III selbst gemessen werden konnten.

Es ergaben sich für insgesamt 7 Teilzeitintervalle folgende Werte $\Delta\bar{g}$ gegen die Quarzuhr III:

für Quarzuhr I:

−0,000 22 sec/10^d vom 1. Mai 1934 bis 20. Sept. 1934,
+0,000 17 sec/10^d vom 20. Sept. 1934 bis 10. März 1935,
−0,000 14 sec/10^d ab 10. März 1935;

für Quarzuhr II:

−0,000 39 sec/10^d vom 1. Mai 1934 bis 20. Juli 1934,
0,000 00 sec/10^d vom 20. Juli 1934 bis 1. Nov. 1934,
+0,000 84 sec/10^d vom 1. Nov. 1934 bis 8. April 1935,
−0,000 14 sec/10^d ab 8. April 1935.

Die aus diesen Werten sich ergebenden Änderungen $\delta\Delta\bar{g}$ der Gangänderung z. B. am 20. September, 20. Juli usw. sind selbstverständlich nicht als Korrekturen an den nach den Zeitinstituten gemessenen Gängen angebracht

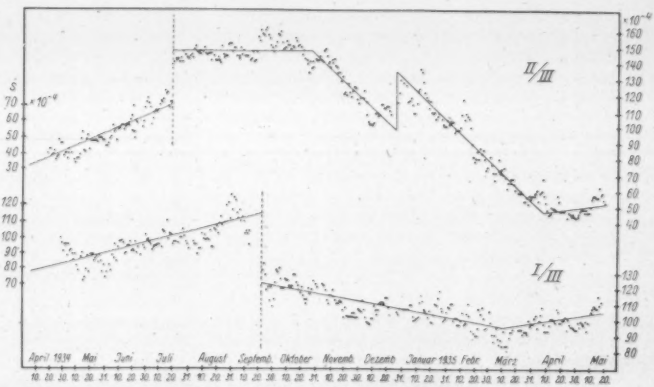


Abb. 3.
„Momentane" Gangdifferenzen I zwischen den Quarzuhren I und III; II und III.

[1]) Zur Diskussion dieser Kurven s. auch Abschnitt 22.

worden, die in Abb. 1 und in den Tabellen 1–3 eingetragen sind. Man sieht daher dort sehr deutlich, wie auf Grund der stärkeren Retardation die Gänge der Uhr II bei der Abwärtsbewegung ab Oktober, November die Gangkurve der Uhr I schneiden.

20. Auf die Nichtberücksichtigung dieser systematischen Änderungen von $\Delta\bar{g}$ ist es zurückzuführen, daß sich bei dem in Abschnitt 15 durchgeführten einheitlichen Ausgleich über die mit diesen Änderungen nicht korrigierten gemessenen Gangwerte der Uhren I und II systematische Fehler einschleichen, auf deren Konto nun zum Hauptteil die Streuung von $\pm$ 0,001 sec der Differenzwerte zwischen den Quarzuhren in Abb. 2 zu schieben ist.

Ist die Behauptung richtig, so müßte eine Ausgleichung über solche gemessenen Gänge von I und II, die mit den in Abschnitt 19 angegebenen und nach der Quarzuhr III bestimmten Gangänderungsbeträgen korrigiert sind, wesentlich geringere Schwankungen der Differenzen: gemessene Gänge – ausgeglichene Gänge ergeben, als sie die Abb. 2 zeigt. Wir sind uns darüber klar, daß ein solcher Ausgleich eine Ausrichtung der Uhren I und II nach der Quarzuhr III mit dem gleichen Akzelerationsbetrag über die gesamte Beobachtungszeit vom 1. Mai 1934 bis 31. Mai 1935, wie wir ihn für die Uhr III nach Abschnitt 8 erhielten, ergibt. Aber nicht dies ist das Wesentliche, sondern wesentlich ist, ob innerhalb der von den Akzelerationsänderungen umfaßten Teilzeitintervallen eine bessere Übereinstimmung im gesamten Kurvenverlauf der Abb. 2 erreicht wird, so daß dann der Gangsprung im Juni noch stärker aus dem Rahmen der gegenseitigen Schwankungen herausfällt.

In der Tat zeigt Abb. 4[1]), in der jetzt die Differenzen: gemessener Gang–berechneter Gang nach den Ergebnissen dieser Ausrichtung nach Uhr III eingezeichnet sind, daß eine wesentlich bessere Übereinstimmung des Kurvenverlaufs von Quarzuhr I und II mit dem der Quarzuhr III vorhanden ist, daß also damit die Streuungen der Differenzen der Abb. 2 im wesentlichen auf die bisher unberücksichtigt gebliebenen Änderungen der Gangänderungen der Uhren I und II zurückzuführen sind.

21. Geblieben ist jedoch – und zwar noch klarer als in Abb. 2 –, der starke

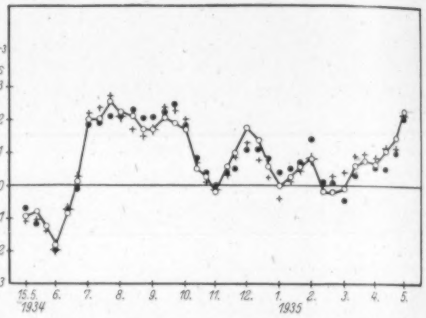


Abb. 4. Differenzen: gemessener – berechneter Gang; Ausrichtung der Quarzuhren I und II nach III. ●●●● Quarzuhr I; ++++ Quarzuhr II; ○○○○ Quarzuhr III.

Ganganstieg im Juni. Infolge der Beseitigung der durch die Ausgleichung des Abschnittes 15 verursachten systematischen Fehler tritt nicht allein dieser Ganganstieg deutlich hervor, sondern neben ihm und dem Gangabfall vom Oktober zeigt sich ein zackenartiger Verlauf der Gänge. Man könnte nun einwenden, daß ja durch die Ausrichtung der Uhren I und II nach Uhr III die systematischen Gangfehler der Uhr III, also auch diese besonders große Gangverschiebung vom Juni, mit übernommen sein könnte. Dem ist entgegenzuhalten, daß ja schon die unabhängige Ausgleichung nach Abb. 2 diese Gangverschiebung in voller Deutlichkeit bei allen drei Uhren zeigt, und daß ferner bei einem Zutreffen des Einwandes die verschieden langen Teilintervalle der Ausrichtung beider Uhren – für Uhr I über das fünf Monate lange Intervall vom 1. Mai zum 20. September und für Uhr II über das wesentlich kürzere Intervall vom 1. Mai zum 20. Juli – einen Unterschied in der zeitlichen Lage und in der Größe dieser Gangverschiebung ergeben müßten, der aber nach Abb. 4 keineswegs vorhanden ist.

Als Hauptergebnis erhalten wir also, daß sich bei Berücksichtigung der Änderung $\delta\Delta\bar{g}$ der Gangänderung, die bei Quarzuhr I in der Beobachtungsperiode nur zweimal, bei Quarzuhr II dreimal eingetreten ist, die Gangverschiebung vom Juni 1934 ganz besonders eindeutig als außerhalb der gegenseitigen Gangschwankungen der drei Quarzuhren liegend ergibt; damit müßte bei Annahme des Falles a) auf die drei Quarzuhren ein gangändernder Einfluß wirksam gewesen sein, der, wie Abb. 4 zeigt, ihre Gänge auch noch bei einer

1) Die eingezeichneten Punkte sind gemäß Abschnitt 12 mit $\Delta\bar{g} = 0{,}0002$ sec/10^d berechnet. Die Punkte am 5. Mai 1935 sind etwas zu tief eingezeichnet. Die eingezeichnete Kurve verbindet zur besseren Übersichtlichkeit die Meßpunkte der Uhr III.

Gesamtveränderung von 0,004 sec bis auf wenige Zehntausendstel Sekunden, also einige Prozent genau gleich beeinflußt hätte. Möglichkeiten nach Fall a) wären daher zu erörtern.

22. Folgende Größen beeinflussen den Gang der Quarzuhren:

α) Temperatur,
β) Anoden- und Heizfadenspannung der Steuersenderröhre,
γ) Kapazität und Induktivität des Anodenschwingungskreises,
δ) Röhreneigenschaften und Schaltkapazitäten zwischen Gitter und Kathode bzw. Anode,
ε) elektrische Dämpfung.

Wenn man annimmt, daß durch Änderungen dieser Größen Schwankungen der Quarzuhrgänge verursacht werden, so muß man zusätzlich fordern, daß mit gleichstarken Änderungen dieser Größen auch gleichstarke Gangänderungen bei den verschieden gebauten Uhrentypen I und II bzw. III verbunden sind. Nur dann wäre erklärbar, warum der Ganganstieg im Juni 1934 und auch der in Abschnitt 23 näher besprochene Zackenverlauf bei den drei Quarzuhren innerhalb weniger Zehntausendstel Sekunden gleichgroß eingetreten ist. Die Untersuchungen an beiden Uhrentypen, die sich mit der Gangbeeinflussung durch die Größen α–ε beschäftigten, haben nun ergeben, daß die Forderung nach gleichstarker Gangänderung bei gleicher Änderung einer dieser Größen an beiden Uhrentypen nicht erfüllt, sondern daß der Gang verschiedenartig beeinflußt wird.

Dieses Verhalten der beiden Uhrentypen wird verständlich, wenn man bedenkt, daß Temperaturkoeffizient, Kristallschnitt, Halterung, Elektrodenanordnung der Steuerquarze und die dadurch bedingte Rückkopplung Steuersender–Steuerquarz bei den beiden Uhrentypen nicht gleich sind. Die Verschiedenheit dieser Größen, z. B. des Temperaturkoeffizienten bedingt aber bei gleicher äußerer Einwirkung eine andere Gangbeeinflussung. So ändert sich bei gleicher Temperatureinwirkung der Gang der Uhr I und II etwa hundertmal stärker als der der Quarzuhr III. Ähnliches gilt hinsichtlich des Einflusses von Anoden- und Heizfadenspannungsänderungen. Dieser Einfluß ist nicht nur äußerst gering und verschieden groß, sondern er wird auch durch ständige, für jede Uhr unabhängige Einregulierung der Spannungen auf vorgeschriebene Werte wirkungslos gemacht. Die Gangbeeinflussung durch Kapazitäts- und Induktivitätsänderung ist ebenfalls unwesentlich, da eine Verstimmung des Schwingungskreises um 1–2 Proz. in der Eigenfrequenz — entsprechend 100–200 $\mu\mu$F Kapazitätsänderung — eine Gangänderung von höchstens 0,001 sec nach sich zieht. Gegen eine selbständige Verstimmung der Schwingungskreise, die außerdem entsprechend der obigen Forderung bei sämtlichen Schwingungskreisen gleichgroß eintreten müßte, ist durch sehr stabilen Bau der Kreise und ihre Haltung auf konstanter Temperatur Vorsorge getroffen.

Gleiche Überlegungen treffen für die Beeinflussungsmöglichkeiten nach δ und ε zu, nur sind hier die Gangänderungseinflüsse zahlenmäßig infolge ihrer Kleinheit meßtechnisch schwerer zu erfassen. Sicher ist, daß auch diese Einflüsse verschieden stark bei den beiden Uhrentypen einwirken.

Sichergestellt ist ferner, daß die zwischen den Röhrenelektroden liegenden Kapazitäten den bisher bei sämtlichen Quarzuhren aufgetretenen Einlaufseffekt, d. h. die allmähliche Änderung der täglichen Gangänderung, im Ablauf beeinflussen. Wir haben gefunden, daß die Änderung des Röhrenwiderstandes allein bei bestimmten Kombinationen von Anoden- und Gitterkapazitäten keinen Einfluß auf die tägliche Gangänderung hat. Es ist andererseits möglich, den Betrag der täglichen Gangänderung erstmalig eingeschalteter Quarzuhren durch Zuschaltung passend gewählter Kapazitäten zwischen Gitter und Kathode bzw. Gitter und Anode der Röhre des Steuersenders so zu ändern, daß die Änderung des täglichen Ganges zweier Uhren gegeneinander nahezu Null wird.

Die Diskussion der Beeinflussungsmöglichkeiten der täglichen Gänge läßt mithin erkennen, daß Quarzuhren gleicher Type durch bestimmte äußere Einwirkungen auf die elektrischen Schaltelemente beeinflußt werden können; neuere Messungen haben sogar ergeben, daß eine derartige Beeinflussung auf zwei Quarzuhren gleicher Type monatelang mit einer inneren Übereinstimmung von wenigen Zehntausendstel Sekunden bei einer Amplitude gegen die astronomische Zeit bis zu 0,02 sec erfolgen kann. Als Beispiel hierfür zeigen wir in Abb. 5 die gleichstarke Beeinflussung der Quarzuhren I und II, deren Gänge sich gegen die Quarzuhr III innerhalb zweier Monate um 0,02 sec vergrößerten (Kurve I–III und II–III), während die Gangdifferenz von Quarzuhr I gegen II bis auf wenige Zehntausendstel Sekunden in dieser Zeit konstant blieb (Kurve I–II). Es wäre in diesem Falle falsch gewesen, trotz der hohen inneren Gangkonstanz der Quarzuhren I und II die Inkonstanz bei der Quarzuhr III zu suchen, da die Extrapolation des Ganges der Quarzuhr III nach Abschnitt 13 im großen mit der astronomischen Zeitbestimmung übereinstimmt.

Die Diskussion zeigt aber auch eindeutig, daß die Beeinflussungsmöglichkeiten sich bei den Quarzuhren verschiedener Typen verschieden stark auswirken. Damit scheiden die oben aufgeführten Beeinflussungsmöglichkeiten als Ursache für den sämtlichen Quarzuhren gleichen Gangsprung im Juni 1934 aus. Andere Einflüsse thermischer und elektrischer Natur auf die Gänge, als die oben aufgeführten, sind uns weder aus Experimenten, noch aus sonstigen Überlegungen heraus bekannt.

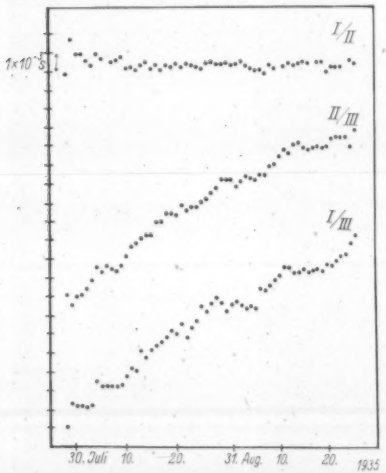


Abb. 5. „Momentane" Gangdifferenzen zwischen den Quarzuhren I, II, III.

Es sei noch bemerkt, daß auch das Gewicht der Quarzstäbe der beiden Quarzuhrentypen völlig verschieden ist, daß bei den Quarzuhren I und II die Stabachse senkrecht zur elektrischen Achse, bei der Quarzuhr III die Stabachse parallel zur elektrischen Achse, und daß ferner die Richtung der elektrischen Achsen bei den Quarzuhren I, II lotrecht, bei den Quarzuhren III, IV nordsüdlich verläuft.

Wir zweifeln daher nicht daran — um den besonders augenfälligen Ganganstieg im Juni 1934 vornweg zu nehmen —, daß nicht nach Fall a) ein äußerer Einfluß auf die Quarzuhren für diese Gangverschiebung verantwortlich zu machen ist, sondern daß mit höchster Wahrscheinlichkeit die Gangverschiebung nach Fall b) vorgetäuscht wurde, d. h. daß die von den Zeitinstituten mitgeteilten Verbesserungen durch eine Schwankung in der astronomischen Tageslänge mit einem gegen die Quarzuhren systematischen Fehler behaftet sind.

Der Gangverlauf der Quarzuhren I, II, III, IV im gesamten Beobachtungsraum vom 1. Januar 1933 bis 31. Mai 1935.

23. Eine Betrachtung der Abb. 4 legt weiter die Frage nahe, ob die neben der großen Gangverschiebung vom Juni und vom Oktober 1934 noch vorhandenen kleinen Verschiebungen, z. B. der Zackenverlauf des Ganges vom November zum Dezember 1934, ebenfalls systematische Schwankungen der astronomisch bestimmten Zeit registrieren oder zufällige Gangschwankungen darstellen, die zufällig für sämtliche drei Uhren das gleiche Vorzeichen haben? Eine Entscheidung hierüber ist leichter zu fällen, wenn sich ganz allgemein auch für die Zeit vor dem Juni 1934, also möglichst für die Zeit vom Januar 1933 ab ein ähnlicher, in sich gut übereinstimmender Zackenverlauf der Differenz: gemessener — berechneter Gang für die drei Quarzuhren ergibt. Mit zunehmender Länge der Beobachtungszeit muß die Wahrscheinlichkeit, daß die Gänge der drei Uhren zufällig stets gleich beeinflußt werden, kleiner werden.

Da die Ausgleichsrechnung für die Quarzuhr III ab Juni 1933 nach Abschnitt 12, für die Quarzuhren I und II ab Mai 1934 nach Abschnitt 17 bereits durchgeführt wurde, so ist nur noch nötig, Quarzuhr I und II für die Zeit vom 1. Januar bis Oktober 1933 in gleicher Weise, wie in Abschnitt 17 geschildert, ebenfalls nach Quarzuhr III auszurichten. Hierbei muß insbesondere die nach Abb. 1 sehr deutliche Akzelerationsänderung, die die Quarzuhr I im August 1933 infolge Zerspringens eines Kontaktthermometers erlitt, mit Hilfe der Registrierkurven der „momentanen" Gangdifferenzen III gegen I bestimmt werden.

Wir haben diese Ausrichtung der I und II nach der Quarzuhr III durchgeführt; hierbei hat sich nebenbei das schöne Resultat ergeben, daß die Quarzuhr II für diesen Teilzeitraum von 9 Monaten gegen die astronomische Zeit die Akzeleration $\Delta\bar{g}$ gleich Null besaß, da ihr Gang gegen die Uhr III um denselben Betrag retardiert, mit dem die Uhr III gegen die astronomische Zeit akzeleriert.

Mit Anschluß der Uhren I und II an die Uhr III wird der Beobachtungszeitraum vom 1. Januar bis Oktober 1933 zwei- bzw. dreifach, der Beobachtungsraum vom 1. Mai 1934 bis 31. Mai 1935 dreifach durch die Uhren belegt. Der Zeitraum vom Oktober 1933 bis 1. Mai 1934 bliebe allein durch die Uhr III überbrückt; um

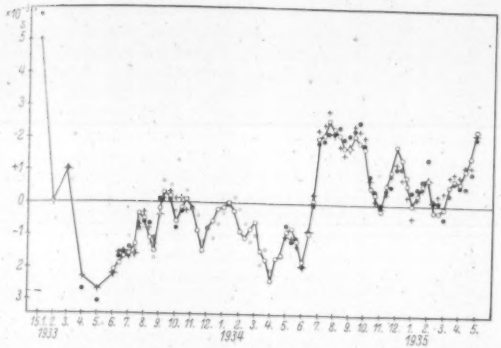


Abb. 6. Differenzen: gemessener – berechneter Gang; Ausgleichung über den gesamten Beobachtungszeitraum.
•••• Quarzuhr I; ++++ Quarzuhr II; ○○○○ Quarzuhr III; ○○○○ Quarzuhr IV.

auch für diese Zeit eine Kontrolle wenigstens durch eine weitere Quarzuhr zu besitzen, haben wir ein der Methode nach Abschnitt 17 gleiches Anschlußverfahren für die Versuchsuhr IV an die Uhr III ausgeführt, da die Uhr IV störungslos – bis auf eine durch uns bewerkstelligte Gangänderung infolge Auswechselns einer Röhre am Steuersender – vom Juli 1933 bis April 1934 durchlief.

Das Gesamtergebnis der Differenzbildung gemessener – berechneter Gänge sämtlicher vier Uhren ist unter nochmaliger Mitverwendung des Materials der Abb. 4 graphisch in Abb. 6[1]) für den gesamten Beobachtungszeitraum vom 1. Januar 1933 bis 31. Mai 1935 zusammengestellt.

Der Kurvenverlauf zeigt also auch für den vor dem 1. Mai 1934 liegenden Beobachtungszeitraum die gleich geringe Schwankung der Differenzwerte gleichen Datums der Uhren gegeneinander, wie wir sie schon für den Beobachtungsraum nach dem 1. Mai 1934 aufzeigten.

Bemerkenswert ist der starke Gangabfall der Uhren I und II in der Zeit vom Januar bis Mai 1933, der als eine Verlängerung der astronomischen Tageslänge gedeutet werden könnte. Da jedoch dieser Verlauf nicht durch die anders gebaute Uhr III kontrolliert wird, so wollen wir es dahingestellt sein lassen, ob zur fraglichen Zeit nicht doch irgendein Einfluß die Gänge der beiden Uhren veränderte (vgl. auch Abschnitt 22, Abb. 5).

Für die Zeit vom Mai 1933 bis zum Mai 1934 ergibt sich hingegen ein dem Gangverlauf ab November 1934 durchaus ähnlicher Zackenverlauf. Zwischen dem Juli und Oktober 1933 wird der Zackenverlauf von vier Quarzuhren bis auf eine innere Übereinstimmung von wenigen Zehntausendstel Sekunden gleich bestätigt.

Der Anschluß der Quarzuhren I, II und IV im Jahre 1933/34 an die Quarzuhr III zeigt also ebenso wie der Anschluß der Quarzuhr I und II im Jahre 1934/35 mit großer Deutlichkeit, daß die Gangschwankungen von Monat zu Monat bei sämtlichen Quarzuhren mit größter Gleichmäßigkeit erfolgen. Es ist nach den Ausführungen des Abschnittes 22 unwahrscheinlich, daß der Zackenverlauf die Abbildung eines auf die Quarzuhren gleichmäßig einwirkenden thermischen oder elektrischen Einflusses darstellt. Die Ursache des Zackenverlaufes ist daher ebenfalls in systematischen Schwankungen der Zeitangaben der Zeitinstitute zu suchen. Eine Untersuchung des Einflusses der Verbesserungen jedes einzelnen Zeitinstitutes hinsichtlich ihres Anteiles am Zackenverlauf macht es sehr wahrscheinlich, daß auch diese Schwankungen zum großen Teil durch solche der astronomischen Tageslänge bedingt sein müssen.

Weiterhin ist jedoch das Ergebnis wichtig, daß die Differenzen zwischen den gemessenen und den linear nach Funktion (2) ausgeglichenen Gängen vor dem 1. Juni 1934 durchweg negativ, nach dem Juni 1934 durchweg positiv sind. Dadurch wird die Gangänderung im Juni 1934 nur um so auffälliger. Die Ausgleichung über die Quarzuhren I–IV im Jahre 1933 ergibt somit eine gute Bestätigung unserer Deutung der Meßergebnisse des Jahres 1934, daß mit höchster Wahrscheinlichkeit die Gangänderung im Juni 1934 eine Schwankung der astronomischen Tageslänge aufzeigt.

Bemerkenswert ist, daß dem Ganganstieg vom Juni 1934 nicht eine gleiche Erscheinung im Juni 1933 entspricht. Damit auch in diesem Falle nicht entgegengehalten werden kann, infolge der Ausrichtung nach III könnten die Uhren I und II nur das gleiche Ergebnis wie die Uhr III aufweisen, haben wir (wie in dem gleichen Fall des Abschnittes 15) Monatsmittelwerte der drei Quarzuhren unabhängig voneinander nach Gangformel (2) ausgeglichen. Die Differenzen: gemessener – berechneter Gang sind in Abb. 7 eingezeichnet. Wir finden in den kritischen Monaten 1933 im Vergleich

[1]) Vgl. Anmerkung Abschnitt 20, S. 194.

zu Abb. 6 keinen dem Ganganstieg im Juni 1934 auch nur ähnlichen Gangverlauf. Die Streuung der Differenzwerte der drei Uhren ist etwas größer als diejenige nach Abb. 6; dies hat die auch für Abb. 2 zutreffende gleiche Ursache: Nichtberücksichtigung der Änderungen $\delta\Delta\tilde{g}$, deren Einfluß in dem Abschnitt 17 näher besprochen wurde.

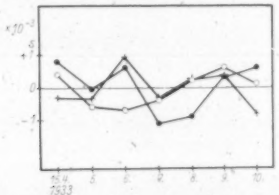


Abb. 7. Differenzen: gemessener — berechneter Gang; unabhängige Ausgleichung.
●●●● Quarzuhr I; ++++ Quarzuhr II;
○○○○ Quarzuhr III.

Das Fehlen des Ganganstieges im Sommer 1933 ist uns, unabhängig von den Erläuterungen des Abschnittes 22, ein Beweis dafür, daß ein thermischer Einfluß infolge Erhöhung der Jahrestemperatur den Effekt des Juni 1934 an den Quarzuhren nicht hervorgerufen haben kann, da wir ja in beiden Jahren höhere Temperaturen im Sommer als im Frühjahr und Herbst hatten.

Über Zeitpunkt und wirkliche Größe der Schwankung der astronomischen Tageslänge vom Juni 1934.

24. Nach Abb. 4 und nach Abschnitt 21 steigt der die Schwankung der astronomischen Tageslänge bestimmende mittlere Gang vom 15. Juni zum 15. Juli um 0,004 sec an. Die mittleren Gänge vom 15. Juni und vom 15. Juli sind aus den täglichen Gängen vom 1.—30. Juni und vom 1.—31. Juli gemittelt, der der Schwankung der Tageslänge gleiche Differenzbetrag von 0,004 sec gibt also auch nur einen Mittelwert wieder. Der wahre Betrag würde sich aus den Differenzen: gemessener — berechneter Gang der täglichen Werte errechnen lassen, wenn die von den Zeitinstituten mitgeteilten täglichen Verbesserungen nicht selbst mit Fehlern von weit mehr als 0,004 sec behaftet wären. Eine von uns vorgenommene Berechnung der Differenzen der täglichen gemessenen und berechneten Gänge läßt daher auch infolge der Streuung der Verbesserungen nichts von einem Ganganstieg erkennen. Günstiger wird dagegen das Ergebnis, wenn man zur Differenzberechnung aus mittleren fünftägigen Gängen übergeht, dann sind die Einflüsse der Schwankungen der Verbesserungen immerhin schon so klein, daß man einen der Abb. 4 ähnlichen Verlauf der Differenzen erhält. Aber auch dann beeinflussen die Schwankungen der Verbesserungen das Ergebnis noch so weit, daß sich bezüglich des Zeitpunktes und der Größe des Ganganstieges nur sagen läßt, der Anstieg des Ganges dürfte etwa zwischen dem 15. und 20. Juni begonnen und zwischen dem 15. und 20. Juli aufgehört haben, wobei der Differenzbetrag berechneter — gemessener Gang von —0,004 sec auf +0,003 sec anstieg.

Die aus fünftägigen Gangwerten berechenbare Schwankung würde demnach mit 0,007 sec fast doppelt so groß als der aus 30tägigen Gangwerten berechnete Betrag von 0,004 sec sein. Es ist keine Aussage darüber möglich, welcher dieser beiden Werte dem wirklichen Ganganstieg am nächsten liegt; besonders deshalb nicht, weil der vor und nach dem Ganganstieg liegende Zackenverlauf an dem Anstieg mit beteiligt sein wird. Wir sprechen größere Sicherheit dem kleineren der beiden Werte zu. Hieraus wäre an die Zeitinstitute die Forderung zu stellen, unter anderem die Meßfehler beim Anschluß ihrer Uhren an die Zeitsterne bedeutend zu verringern, um zu einer größeren inneren Übereinstimmung der astronomischen Zeitbestimmung zu kommen. Erst dann wird man die hohe Konstanz der täglichen Gänge der Quarzuhren zur Überwachung der Schwankung der astronomischen Tageslänge voll ausnützen können.

Über die Gangkonstanz von Quarzuhren und Pendeluhren.

25. In einer früheren Arbeit[1]) haben wir die mittlere tägliche Gangschwankung der Quarzuhr zu

$$\delta_Q = \pm\, 0{,}001 \text{ sec},$$

den mittleren Aufnahmefehler der Zeitzeichenapparatur zu

$$r_Q = \pm\, 0{,}001 \text{ sec}$$

und die Summe der mittleren täglichen Gangschwankung und des Aufnahmefehlers der aus den vier Zeitinstituten: Geodätisches Institut in Potsdam (P_1), Deutsche Seewarte in Hamburg (H), Sternwarte in Greenwich (G) und Institut International de l'Heure in Paris (P_2) gebildeten mittleren astronomischen Uhr (4) zu

$$\varepsilon_4 = \sqrt{2\,r_4^2 + \delta_4^2} = \pm\, 0{,}007 \text{ sec}$$

bestimmt. Würde man, was durchaus möglich ist, den Aufnahmefehler r von Uhr (4) mit

1) A. Scheibe und U. Adelsberger, Ann. d. Phys. **18**, 1, 1933.

$\pm 0{,}003$ sec ansetzen, so ergäbe sich aus obiger Gleichung für die Gangschwankung δ_4 von Uhr (4) ein Wert von $\pm 0{,}005$ sec.

Gegen dieses für die mittlere astronomische Uhr im Vergleich zur Quarzuhr ungünstige Ergebnis wendet sich N. Stoyko in seiner Arbeit „Précision d'un Garde-Temps Radio-Electrique à Quartz“ [1], in der er mit Hilfe des ihm zur Verfügung stehenden Standmaterials von neun Zeitinstituten und der von uns mitgeteilten Verbesserungen des Nauener Koinzidenzsignals nun seinerseits eine Berechnung der Gangschwankung und der Aufnahmefehler für die Quarzuhr, für die vier Zeitinstitute, für die mittlere Uhr (4) aus vier Zeitinstituten und für die mittlere Uhr (9) aus neun Zeitinstituten durchführt. Er erhält als Resultat:

a) für die Gangschwankung die Werte

$$\delta_{\text{U}} = 0{,}0034 \text{ sec}; \quad \delta_{\text{Pt}} = 0{,}0058 \text{ sec};$$
$$\delta_{\text{H}} = 0{,}0049 \text{ sec}; \quad \delta_{\text{G}} = 0{,}0015 \text{ sec};$$
$$\delta_{\text{Pa}} = 0{,}0009 \text{ sec}; \quad \delta_4 = 0{,}0010 \text{ sec};$$
$$\delta_9 = 0{,}0014 \text{ sec};$$

b) für den Aufnahmefehler die Werte

$$r_{\text{U}} = 0{,}0037 \text{ sec}; \quad r_{\text{Pt}} = 0{,}0079 \text{ sec};$$
$$r_{\text{H}} = 0{,}0062 \text{ sec}; \quad r_{\text{G}} = 0{,}0034 \text{ sec};$$
$$r_{\text{Pa}} = 0{,}0027 \text{ sec}; \quad r_4 = 0{,}0030 \text{ sec};$$
$$r_9 = 0{,}0036 \text{ sec}.$$

Stoyko bestimmt mithin die mittlere tägliche Gangschwankung der mittleren astronomischen Uhr (4) mit $\delta_4 = 0{,}001$ sec etwa fünfmal kleiner und die mittlere tägliche Gangschwankung der Quarzuhr etwa dreimal größer als wir.

Die Differenz der beiderseitigen Ergebnisse ist so groß, daß sie nicht ohne weiteres übersehen werden darf; ihre Ursache dürfte in den Methoden zu suchen sein, die zu den Resultaten führten. Während wir zu unseren Ergebnissen auf Grund verhältnismäßig einfacher Messungen und Überlegungen kamen, indem wir aus den gemessenen täglichen Änderungen der Gangdifferenzen der Quarzuhren im Betrage von $\pm 0{,}0003$ sec, aus einer Diskussion und Untersuchung der Möglichkeiten der Gangbeeinflussung äußerer einwirkender Kräfte und aus der monatelangen absoluten Gangkonstanz im Betrage von $\pm 0{,}002$ sec auf die tägliche Gangänderung und in ähnlicher Weise auf die Aufnahmefehler schlossen, berechnet Stoyko aus seinem Material die Quadratsummen der Gangschwankungsbeträge sämtlicher Uhren sowohl gegen die mittlere astronomische Uhr (9) von neun Sternwarten, als auch gegen die Quarzuhr, und ermittelt aus diesen Gleichungen die Einzelbeträge der Gangschwankungen δ und Aufnahmefehler r für jede Uhr. Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens hat zur Voraussetzung, daß keine systematischen Fehler in der Zeitbestimmung der Zeitinstitute vorhanden sind. Es sind nun aber systematische Abweichungen in den Verbesserungen der Zeitinstitute gegeneinander und somit auch gegen die Quarzuhren vorhanden, wie wir in unserer damaligen Arbeit und auch jetzt wieder nachgewiesen haben. Damit muß das Stoykosche Rechenverfahren in der Ermittlung einwandfreier Werte versagen, da es dann hauptsächlich die Quadratsummen der Gangschwankungsbeträge der Quarzuhren gegen die astronomischen Uhren mit diesem systematischen Fehler belastet, während bezüglich der Quadratsummen der astronomischen Uhren gegen die mittlere astronomische Uhr diese Fehler minder ins Gewicht fallen. Es müssen daher bei der Auflösung dieser Summen die Schwankungen der Quarzuhren selbst zu groß herauskommen. Die Rechnungen Stoykos können daher einwandfreie Resultate nicht liefern.

Aber auch noch aus einem anderen Grunde erscheint uns die Rechnungsform Stoykos unmöglich. Es wird bei ihr die Gangschwankung einer einzigen Quarzuhr mit Hilfe der Schwankungsbeträge der Uhren von vier Zeitinstituten, der mittleren Uhr aus diesen vier Zeitinstituten und der mittleren Uhr aus neun Zeitinstituten berechnet. Das Resultat würde richtiger sein, wenn zu dem Gleichungssystem dieser Rechnung nicht nur eine einzige, sondern vier Quarzuhren, die mittlere Uhr dieser vier Quarzuhren und eine mittlere Uhr aus neun Quarzuhren weitere Quadratsummen beigetragen hätten. In diesem Falle würden bei der Auflösung der Gleichungen die Quadratsummen der Schwankungen der Einzelquarzuhren gegen die mittleren Quarzuhren, die, wie wir im folgenden zeigen, gegenüber den Quadratsummen der Schwankungen der Uhren der Zeitinstitute um das Mehrfache kleiner sind, einen beachtlichen Beitrag zugunsten der Quarzuhren geleistet haben.

Wir halten es nach diesen Bedenken gegen das Rechenverfahren von Stoyko für müßig, nun selbst ein geeigneteres Rechenverfahren zu entwickeln; wir halten es vielmehr für fruchtbarer, das vorliegende experimentelle Gangmaterial über die Quarzuhren einem ähnlichen Material über die Zeitinstitute gegenüberzustellen; schon ein einfacher Vergleich läßt dann die Überlegenheit der Gangkonstanz der Quarzuhren erkennen.

1) N. Stoyko, Ann. fr. d. Chronom. p. 221, 1934.

26. Die mittleren Gangschwankungen der Quarzuhren. In Abschnitt 20 und 21 besprachen wir das in Abb. 4 und 6 graphisch dargestellte Ergebnis, wonach bis auf eine gegenseitige Schwankung von wenigen Zehntausendstel Sekunden die Quarzuhren I, II, III, den Gangsprung im Juni 1934 und auch den darauffolgenden Zackenverlauf der Gänge übereinstimmend wiedergeben. Wir haben in der Besprechung des Abschnittes 23 geäußert, daß auch der Zackenverlauf der Gänge unmöglich den Quarzuhren zur Last gelegt werden darf. Es sind daher einzig und allein die übrigbleibenden gegenseitigen Schwankungen der Gänge gleichen Datums als Gangschwankungen der Quarzuhren selbst anzusehen.

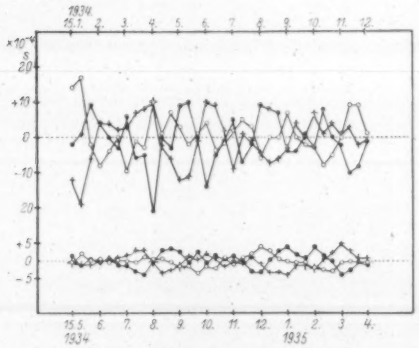


Abb. 8. Abweichungen der gemessenen Gänge der Zeitinstitute bzw. der Quarzuhren von den Gängen eines mittleren Zeitinstitutes bzw. einer mittleren Quarzuhr.
Im oberen Teil: ●●●● P_a, ++++ H, ○○○○ P_t.
Im unteren Teil: ●●●● I, ++++ II, ○○○○ III.

Da wir keiner der drei Quarzuhren einen bestimmten Vorrang bezüglich der Gangkonstanz zuerkennen wollen, so halten wir es für zweckmäßig, aus den drei Quarzuhren eine mittlere Quarzuhr (Q) zu bilden und die Schwankungen der dreißigtägigen Gangmittelwerte gleichen Datums als Differenzen gegen die mittlere Quarzuhr zu berechnen. Wir erhalten damit Schwankungen der Einzelquarzuhren gegen die mittlere Quarzuhr — z. B. für die Zeit vom 15. Mai 1934 bis 15. April 1935, in der die drei Quarzuhren gleichzeitig in Betrieb waren —, die im Maximum nur $\pm$ 0,0004 sec betragen. Die Größe der Einzelschwankungen und die Verteilung über die Zeitspanne zeigt Abb. 8 (unten), während Abb. 9 eine Statistik der Größe der Gangschwankung darstellt. Die Abb. 9 läßt erkennen, daß 64 Proz. sämtlicher Gangschwankungen Beträge haben, die $\leq$ 0,00015 sec sind. Bei Quarzuhr III ist die Zahl der Schwankungsbeträge, die größer als 0,0001 sec sind, etwas geringer als bei den temperaturempfindlicheren Quarzuhren I und II.

Als mittlere Einzelschwankung δ_Q der einzelnen Quarzuhren berechnet sich:

$$\delta_{QI} = \pm 0{,}00023 \text{ sec},$$
$$\delta_{QII} = \pm 0{,}00020 \text{ sec},$$
$$\delta_{QIII} = \pm 0{,}00016 \text{ sec},$$

das Mittel ergibt:

$$\delta_Q = \pm 0{,}00020 \text{ sec}.$$

Da nach unseren vorhergehenden Ausführungen auf Grund der Differenzbildung in diesen δ_Q-Beträgen keine durch die astronomische Zeitbestimmung bedingten Schwankungen mehr inbegriffen sind und da ferner der nach Abschnitt 4 vorhandene, aber völlig vernachlässigbare Aufnahmefehler r herausfällt, so gibt der Betrag $\delta_Q = \pm 0{,}00020$ sec die mittlere zufällige Gangschwankung 30tägiger Gangreihenfolgen der Quarzuhren wieder.

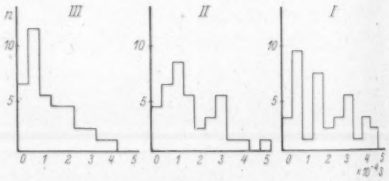


Abb. 9. Verteilung von Größe (in 10^{-4} s) und Anzahl n der Abweichungen der Gänge der Quarzuhren von den Gängen einer mittleren Quarzuhr.

27. Nach Abschnitt 8 berechnet man für den gleichen Beobachtungszeitraum eine zufällige Schwankung der Quarzuhr III gegen die mittlere astronomische Uhr zu $\pm$ 0,0011 sec, falls die Gesamtschwankung der Quarzuhr III allein zugeschoben wird; daß dies nicht statthaft ist, sondern daß der Quarzuhr III nur eine zufällige Schwankung von $\pm$ 0,00020 sec zukommt, haben wir soeben ausgeführt. Es ergibt sich daher für die mittlere astronomische Uhr (3)[1]) als Differenz beider Zahlen ein Wert von

$$\delta_{(3)} = \pm 0{,}0009 \text{ sec}.$$

In diesem Wert ist der anteilige Betrag des über 30 Tage gemittelten mittleren Zeitzeichenaufnahmefehlers der Zeitinstitute mitenthalten; er

1) Es konnte nur eine mittlere Uhr über drei Zeitinstitute gebildet werden, da die Sternwarte zu Greenwich während des größten Teils der Beobachtungszeit keine Verbesserung für Nauen herausgab.

ist, nimmt man den von Stoyko berechneten Betrag des mittleren täglichen Aufnahmefehlers von $\pm$ 0,0030 sec als richtig an, in seinem Einfluß jedoch zu vernachlässigen.

Das Verhältnis der mittleren zufälligen Gangschwankung der Quarzuhren zu der mittleren zufälligen Gangschwankung der mittleren astronomischen Uhr ergibt sich also wie

$$0{,}0002 : 0{,}0009 = 1 : 4{,}5.$$

Die Quarzuhren haben danach etwa 4,5mal kleinere Gangschwankungen als eine aus den Uhren von drei Zeitinstituten gebildete mittlere astronomische Uhr.

28. Die Schwankungen in der astronomischen Zeitbestimmung. Ebenso wie wir für die Quarzuhren aus den Verbesserungen der Zeitinstitute mittlere Gänge über 30tägige Reihenfolgen ableiteten, können wir dies für die drei Zeitinstitute tun. Wir erhalten dann Gänge für die mittleren Uhren der einzelnen Zeitinstitute, die ebenfalls wie bei den Quarzuhren I, II und III weitgehendst gegeneinander ausgerichtet sind, da die Zeitinstitute als gemeinsames Bezugssystem zur Beseitigung der systematischen Fehler ihrer Pendeluhren die Zeitsterne benutzen.

Bilden wir in gleicher Weise wie im vorigen Abschnitt auch hier die Differenzen der Gänge der mittleren Uhr der einzelnen Zeitinstitute gegen eine aus den drei Zeitinstituten gebildete mittlere astronomische Uhr (3), so erhalten wir Werte, die ebenfalls ein Maß für die Schwankungen der mittleren Uhr der Institute sind. In diesen Beträgen sind freilich im Gegensatz zum vorigen Abschnitt außer der eigentlichen Gangschwankung δ der Einzelinstitute noch deren Aufnahmefehler r enthalten, die aber aus den schon mehrmals aufgeführten Gründen heraus bei einem 30tägigen Mittel einflußlos sind.

29. Für die Uhren der Zeitinstitute haben wir die Differenzen über die Zeitspanne vom 1. Januar bis 30. Dezember 1934 ermittelt; ihre Werte sind in Abb. 8 (oben) eingezeichnet. Wir erhalten Schwankungen zwischen $-$ 0,0021 sec und $+$ 0,0017 sec, die damit wesentlich größer sind als die entsprechenden Schwankungen von $\pm$ 0,0004 sec bei den Quarzuhren. Statt 64 Proz. sind auch nur 26 Proz. sämtlicher Gangschwankungen $\leq$ 0,00015 sec.

Als mittlerer Fehler der Einzelschwankung der mittleren Uhr jedes Zeitinstituts berechnet sich:

$$\delta_{\mathrm{H}} = \pm\, 0{,}00070 \text{ sec}$$
$$\delta_{\mathrm{P_a}} = \pm\, 0{,}00069 \text{ sec}$$
$$\delta_{\mathrm{P_t}} = \pm\, 0{,}00065 \text{ sec},$$

das Mittel hieraus ist:

$$\delta_Z = \pm\, 0{,}00068 \text{ sec};$$

dieser Betrag dürfte die zufällige mittlere Gangschwankung der mittleren Uhr eines Zeitinstituts über 30tägige Reihenfolgen darstellen. Vergleicht man diesen Wert mit dem für die Quarzuhr erhaltenen, so ergibt sich das Verhältnis:

$$0{,}00020 : 0{,}00068 = 1 : 3{,}4.$$

Die Quarzuhr ist nach dieser Rechnung also nur 3,4mal gangkonstanter als die mittlere Uhr eines Zeitinstituts. Dies Ergebnis ist für die Zeitinstitute gegenüber dem des Abschnittes 27 erheblich besser. Der Grund hierfür ist der, daß in dem dort benutzten Resultat des Abschnittes 8 der systematische Gangsprung von 0,004 sec, der den Zeitinstituten zur Last zu legen ist, die Schwankungsbeträge der Zeitinstitute vergrößernd beeinflußt, während er bei der in diesem Abschnitt durchgeführten Differenzbildung der Zeitinstitute gegen die mittlere astronomische Uhr herausfällt. Da jedoch für eine Beurteilung der Gangkonstanzen der mittleren astronomischen Uhren systematische Fehler der Zeitinstitute, die in gleicher Weise die Zeitangaben sämtlicher Zeitinstitute beeinflussen, bei Zeitbestimmungen nicht außer acht gelassen werden dürfen, so ist das Verhältnis 1 : 4,5 das richtigere.

Wir erhalten demnach für die mittlere Gangkonstanz über 30tägige Reihenfolgen das Resultat, daß jede Quarzuhr 4,5mal gangkonstanter ist als die mittlere Uhr aus drei Zeitinstituten. Da den mittleren Uhren der Zeitinstitute selbst wieder eine größere Anzahl von Pendeluhren zugrunde liegt, so muß das Verhältnis für die Quarzuhren im Vergleich zu einer einzelnen Pendeluhr noch günstiger sein.

30. Die drei Zeitinstitute Hamburg (H), Potsdam ($\mathrm{P_t}$) und Paris ($\mathrm{P_a}$) zeigen nahezu die gleiche mittlere Gangschwankung von $\pm$ 0,00068 sec. Dies Resultat weicht beträchtlich von dem ab, was nach dem Ergebnis der Rechnung Stoykos zu erwarten ist; danach müßten die deutschen Zeitinstitute 5–6mal inkonstanter sein als das Pariser Institut. Der Unterschied im Ergebnis der Messungen ist jedoch durchaus verständlich, denn Stoykos Rechnungen beziehen sich auf eine Zeit vor 1933. Seit 1933 haben aber sowohl das Potsdamer sowie das Hamburger Institut wesentliche Fortschritte in der Verbesserung ihres Zeitdienstes gemacht: ersteres durch Aufstellung zweier Quarzuhren nach dem Modell der Quarzuhr III, letzteres durch unmittelbaren Anschluß seiner Uhren über Leitung an die Quarzuhr III. Auch dies dürfte ein Beweis dafür sein, daß die Rechnung Stoykos, wonach die Quarzuhr kaum doppelt so konstant wie die Uhr von Hamburg und Potsdam sei, unzutreffend ist, denn sonst hätten

diese Institute bei Verwendung der Quarzuhr ihre Gangkonstanz nicht 5–6mal erhöhen können.

31. Die täglichen Gangschwankungen der Quarzuhren. Für das Verhältnis der Schwankungen der täglichen Gänge der Quarzuhren zu den täglichen Gängen der Uhren der Zeitinstitute lassen sich Zahlenwerte aus den Resultaten der Abschnitte 29 und 30 natürlich nicht ableiten. Wohl aber können wir einige Schlüsse aus den Messungen der momentanen Gänge Δ (s. Abschnitt 2) ziehen, die wir dauernd zur Überwachung der Uhren ausführen. In den nach dieser Methode ermittelten Zahlenwerten sind in Differenzbeträgen der Gänge nur die individuellen Schwankungen der Quarzuhren zueinander enthalten. Wir haben über derartige Messungen in unseren früheren Arbeiten schon berichtet. Wir erhielten danach für die täglichen Schwankungen der Quarzuhren gegeneinander sowohl bei Meßreihen über 14 Tage, als auch über Tage und Stunden Beträge, die mit $\pm$ 0,0003 sec und $\pm$ 0,0001 sec mit dem Meßfehler von $\pm$ 0,0001 sec bis $\pm$ 0,0002 sec nahezu identisch sind. Daß mit Verringerung des Meßfehlers die innere Übereinstimmung größer wird, zeigt das in Abb. 10 dargestellte Ergebnis einer

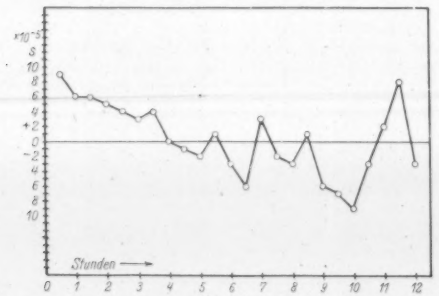


Abb. 10. Änderung der Differenz der täglichen Gänge der Quarzuhren I und III während einer zwölfstündigen Beobachtungsperiode.

Messung der Differenz der täglichen Gänge zwischen Quarzuhr III und Quarzuhr I. Die Differenzen wurden während einer Meßzeit von 12 Stunden mit einer Meßgenauigkeit für den täglichen Gang von 0,00001 sec halbstündlich gemessen. Wir sehen, daß die gesamte Schwankung innerhalb 0,0001 sec liegt und daß die stündliche Schwankung im allgemeinen mit 0,00001 sec der Meßgenauigkeit gleicht. Dies Resultat ist um so höher zu bewerten, als die Differenzmessung an zwei Quarzuhren verschiedener Type durchgeführt wurde, bei welcher gemäß Abschnitt 22 die Wirksamkeit äußerer Einflüsse ja besonders deutlich hervortreten muß.

Aber auch Meßreihen, die über viele Monate ausgeführt werden (s. Abb. 3), zeigen, daß bei derartigen Zeiträumen wohl systematische lineare Änderungen der Gänge gegeneinander auftreten, daß aber bei maximalen Einzelschwankungen von Tag zu Tag in der Größe von $\pm$ 0,001 sec die mittlere zufällige Schwankung den Wert $\pm$ 0,0003 sec bei Differenzmessungen nicht übersteigt. Es ist hierbei gleichgültig, ob Uhren der Type I und II oder der Type III und IV untereinander oder die einzelnen Typen miteinander verglichen werden. Es ist ebenso gleichgültig, ob die Messungen in Zeiten sehr konstanter oder schwankender Zimmertemperatur ausgeführt werden, womit sich der Schwankungsbetrag von $\pm$ 0,0003 sec als sehr allgemeingültig erweist. Da uns keinerlei andere Ursachen bekannt sind, die zufällig in ähnlicher Größe gleichmäßig auf die Quarzuhrgänge einwirken können, so ergibt sich aus unseren Messungen, daß die absoluten Gangabweichungen gegenüber einer linearen Gangformel (1) an jedem Tag eines mehrmonatigen Zeitraumes innerhalb der Grenzen von $\pm$ 0,001 sec liegen.

32. Dieses Ergebnis wird auch dadurch gestützt, daß sich aus einem täglichen Wert von $\pm$ 0,001 sec für eine 30tägige Beobachtungsreihe eine mittlere Schwankung des Gangmittels δ zu $\pm$ 0,0002 sec berechnet. Dieser Wert stimmt zahlenmäßig mit dem Werte $\delta_Q = \pm$ 0,0002 sec des Abschnitts 26 überein, der bei gleicher Bedeutung mit Hilfe gänzlich anderen experimentellen Materials gefunden worden ist. Auch dieser Befund bestärkt uns in der Überzeugung, daß der von Stoyko errechnete mittlere Wert von $\pm$ 0,0034 sec falsch ist und daher die Gangleistung der Quarzuhren nicht richtig wiedergibt. Der aus unseren experimentellen Erfahrungen heraus bestimmte Wert

$$\delta_{Q\,\text{tägl.}} = \pm\ 0{,}001\ \text{sec}$$

stellt selbst auch nur die obere Grenze für die tägliche Gangabweichung dar.

Zusammenfassung.

33. Das vom Januar 1933 bis Juni 1935 durch Anschluß der Quarzuhren I, II, III an eine aus drei Zeitinstituten gebildete mittlere astronomische Uhr (3) gewonnene Gangmaterial wird mitgeteilt und daraufhin untersucht, ob die Schwankungen der Gänge gegenüber den nach einer linearen Gangformel berechenbaren Gängen den Quarzuhren oder der astronomischen Tageslänge zur Last zu legen sind:

a) Die den größten Meßzeitraum von 2 Jahren überbrückende Quarzuhr III zeigt während ihres Einlaufens bis 31. Dezember 1933 eine völlig gleichmäßige tägliche Gangänderung von 0,00009 sec und seit 1. Januar 1934 eine solche von 0,00002 sec; die Ursache auch der sehr kleinen Gangänderung von 0,00002 sec ist wohl bei der Quarzuhr selbst zu suchen.

b) Die gemessenen Gänge der Quarzuhren I, II, III und — soweit sie nicht als Versuchsuhr lief — der Quarzuhr IV schwanken gegenüber den nach einer linearen Gangformel berechenbaren Gängen in Beträgen bis zu 0,002 sec, wobei die Schwankungen der Quarzuhren unter sich nur wenige Zehntausendstel Sekunden betragen; die Abweichung der gemessenen Gänge von den linear berechneten Gängen (Zackenverlauf) kann nicht auf die Quarzuhren zurückgeführt werden, sondern ist systematischen Schwankungen der Zeitangabe der Zeitinstitute zur Last zu legen; hierbei müssen diese Schwankungen zum großen Teil auf solche der astronomischen Tageslänge zurückgeführt werden.

c) Für den Juni 1934 ergibt sich gegenüber den vorhergehenden Gangwerten des Jahres 1933/34 ein Ganganstieg von $\pm$ 0,004 sec, der bis auf wenige Zehntausendstel Sekunden von den verschieden gebauten Quarzuhren I, II, III gleich groß angezeigt wird; die Besprechung zeigt, daß mit höchster Wahrscheinlichkeit diese Gangverschiebung nicht den Quarzuhren, sondern dem astronomischen Zeitmaß, d. h. der astronomischen Tageslänge zur Last zu legen ist; es ist nicht Aufgabe dieser Arbeit, nach der Ursache dieser Zeitverschiebung zu forschen. Nimmt man als Ursache eine Änderung der Rotationszeit der Erde an, so bedeutet der Sprung von 0,004 sec, daß nach dem Juli 1934 die Tageslänge maximal um 0,004 sec kleiner und die Rotationsgeschwindigkeit der Erde um rund $4{,}6 \cdot 10^{-8}$ ihres Wertes größer geworden ist[1]).

d) Der Juni 1933 zeigt im Gegensatz zum Juni 1934 keinen Ganganstieg; dies wird neben anderen als ein weiterer Beweis dafür angesehen, daß der Effekt des Juni 1934 nicht durch einen sommerlichen Temperatureinfluß an den Quarzuhren bewirkt wurde.

e) Eine sehr starke und bei den beiden Quarzuhren I und II völlig gleiche Gangabnahme vom Januar bis Mai 1933 wird mangels einer Kontrolle durch eine andere Uhrentype nicht als eine Schwankung der astronomischen Tageslänge gedeutet, da eine innere Gangkonstanz von wenigen Zehntausendstel Sekunden bei Uhren gleicher Uhrentype nach unseren Experimenten noch nicht das Fehlen thermischer und elektrischer Einwirkungen auf den Gang beweist.

f) Ein Vergleich der Gangkonstanz der Quarzuhren mit der der Uhren der Zeitinstitute ergibt für die zufällige Schwankung der mittleren 30tägigen Gänge den Betrag von $\pm$ 0,0002 sec, diese Schwankung ist etwa 4,5mal kleiner als die der mittleren Uhr aus drei Zeitinstituten; eine Beurteilung der zufälligen Gangschwankung der Quarzuhren zeigt, daß die obere Grenze der täglichen Gangabweichung bei $\pm$ 0,001 sec liegt; dieser Wert steht im Widerspruch zu dem Ergebnis Stoykos; wir bestreiten daher für die Quarzuhr die Richtigkeit der Grundlage und des Verfahrens der Stoykoschen Gangfehlerberechnung.

g) Die Quarzuhr III hat als Frequenznormal in der Zeit vom 1. Juni 1933 bis 30. Mai 1935 den Frequenzwert insgesamt um $3{,}4 \cdot 10^{-7}$ seines Betrages vergrößert; seit 1. Januar 1934 vergrößert sich der Frequenzwert täglich um $2 \cdot 10^{-10}$ des Betrages; eine Fehlerbetrachtung zeigt, daß der Gang der Quarzuhr III auf $\pm$ 0,001 sec und damit auch der absolute Betrag der Normalfrequenz bis auf $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ seines Wertes über längere Zeit richtig vorausberechnet werden kann.

(Eingegangen 3. Februar 1936.)

[1]) Nimmt man als Ursache eine Kontinentverschiebung an, so entspräche dem Ganganstieg im Juni/Juli eine solche von rund einer Bogensekunde oder 19 m.

Zwei neue Apparate zur unmittelbaren Bestimmung des in Wasser und in Luft enthaltenen Radons.

Von F. Běhounek.

Alle bisher üblichen Methoden sowie die zur Bestimmung des in Wasser und in Luft enthaltenen Radons ausgeführten Apparate ermitteln nicht direkt die Konzentration des *Rn*, sondern nur jene Menge, die in die Ionisationskammer eingeführt wurde. Will man die wirkliche Konzentration des Radons in Wasser oder Luft feststellen, so erfordert dies eine längere Berechnung, welche überdies mit einer Bestimmung von verschiedenen Größen verbunden ist.

Deshalb wurden zwei neue Apparate ausgebildet, bei welchen die Konzentration des Radons unmittelbar an einer Skala abgelesen werden kann. Sie waren für den Gebrauch der staatlichen Radiumbergwerke in St. Joachimstal bestimmt, können aber auch zu jeglichen

anderen üblichen Analysen dieser Art dienen und eignen sich besonders zur Bestimmung der Konzentration des Radons für therapeutische Zwecke, z. B. der Radioaktivität von Bädern, der Luft in Inhalatorien u. ä.

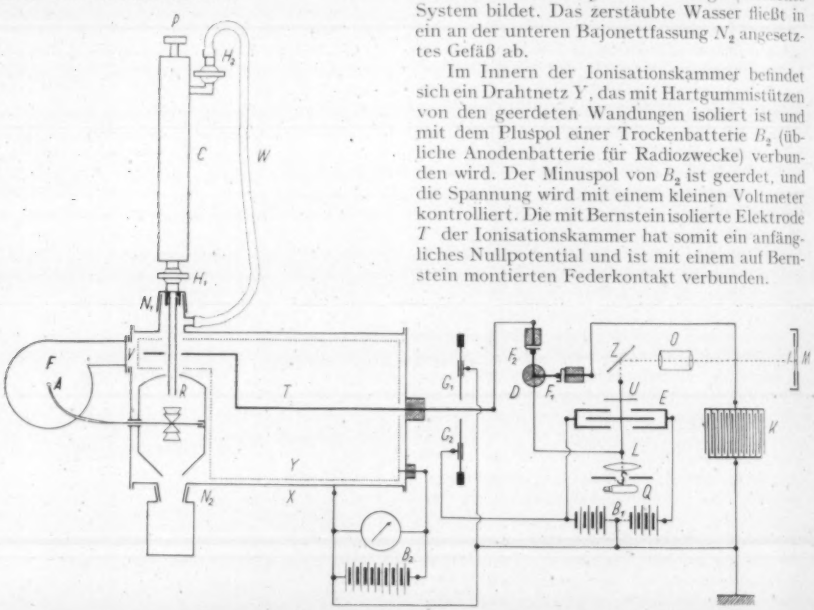


Fig. 1. Schema des Apparates zur Bestimmung der Radioaktivität von Wässern.

I. Der Apparat zur Bestimmung der Radioaktivität von Wässern.

Das Prinzip dieses Apparates ist schematisch in Fig. 1 und die Gesamtansicht in Fig. 2 wiedergegeben. Das radioaktive Wasser wird in einen Zylinder C von 0,25 Liter Inhalt angesaugt. Unterhalb des Hahnes H_1 ist ein Röhrchen R angeschraubt, und der Zylinder wird mit der Bajonettfassung N_1 auf die Ionisationskammer aufgesetzt. Im Innern der Ionisationskammer ist ein Propeller eingebaut, der von der Motorachse A eines handelsüblichen Föhn F über eine biegsame Welle angetrieben wird und das aus dem Zylinder herausfließende Wasser gründlich zerstäubt. Die Zerstäubung bezweckt das Herausholen des Radons aus dem Wasser, und es wird damit durchschnittlich 75 Proz. des gesamten im Wasser enthaltenen Radons in die Luft der Ionisationskammer gebracht. Der Zerstäubungsvorgang dauert 2 Minuten, woraufhin nach Ablauf der 3. Minute die eigentliche Messung vorgenommen wird. Das zerstäubte Radon bleibt in der Ionisationskammer, welche mittels des an den Hahn H_2 angesetzten Schlauches W mit dem Wasserrezipienten C ein geschlossenes System bildet. Das zerstäubte Wasser fließt in ein an der unteren Bajonettfassung N_2 angesetztes Gefäß ab.

Im Innern der Ionisationskammer befindet sich ein Drahtnetz Y, das mit Hartgummistützen von den geerdeten Wandungen isoliert ist und mit dem Pluspol einer Trockenbatterie B_2 (übliche Anodenbatterie für Radiozwecke) verbunden wird. Der Minuspol von B_2 ist geerdet, und die Spannung wird mit einem kleinen Voltmeter kontrolliert. Die mit Bernstein isolierte Elektrode T der Ionisationskammer hat somit ein anfängliches Nullpotential und ist mit einem auf Bernstein montierten Federkontakt verbunden.

Die Messung wurde mit einem Lindemannschen[1]) Elektrometer E, Erzeugnis der Cambridge Instrument Co., vorgenommen. Seine Quadranten sind mit beiden Polen einer Weston-Batterie verbunden, die asymmetrisch geerdet ist, so daß das eine Quadrantenpaar + 20 Volt und das andere — 30 Volt Spannung hat. Diese Schaltung hat den Zweck, daß die Nullage der Nadel gegen den Rand der Skala verschoben und diese bedeutend besser ausgenützt werden kann, ohne daß eine besonders hohe optische Vergrößerung nötig ist. Die Nadel des Elektrometers ist mit einem drehbaren, auf Bernstein montierten Kontakt D verbunden, der 2 aufeinander senkrechte Federn F_1 und F_2 hat. Durch Umdrehen des Kontaktes erhält man 2 verschiedene Schaltungen, d. i. mit oder ohne Kondensator K, und somit 2 verschiedene Empfindlichkeiten des

1) F. A. und A. F. Lindemann und T. C. Keeley, Phil. Mag. **47**, 577, 1924.

Elektrometers, die im Verhältnis von 1 : 10 stehen.

Zur Kontrolle der Spannung der Weston-Batterie, die nur elektrostatisch ausführbar ist, wird der eine Pol der Batterie B_1 mit einer isolierten Sonde G_2 verbunden, die mit dem isolierten System in Kontakt gebracht werden kann. Bei richtiger Spannung von B_1 muß die Nadel des Elektrometers einen bestimmten Ausschlag aus der Nullstellung zeigen, der auf der Skala besonders bezeichnet ist. Der Ausschlag der Nadel wird auf eine Skala M projiziert, die unmittelbar in Mache-Einheiten von 0–70 geeicht ist, bezugsweise von 0–700 ME. Die Eichung und der Meßbereich können natürlich auch beliebig angeordnet werden, da durch Verkürzen oder Verlängern der Ablesezeit die Ladung auf dem isolierten System verkleinert oder vergrößert werden kann, ferner kann man den

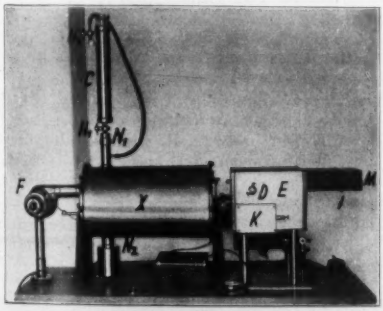


Fig. 2. Gesamtansicht des Apparates zur Bestimmung der Radioaktivität von Wässern.

Inhalt des Zylinders C und damit das zu messende Wasservolumen ändern sowie auch die Empfindlichkeit des Elektrometers durch Änderung der Hilfsladung auf den Quadranten, und auch durch Änderung der Vergrößerung.

Die Projektion des Fadens U, der am Ende der Nadel angebracht ist, wird durch einen Lichtspalt S bewirkt (als Lichtquelle dient eine kleine Kinolampe Q), dessen Bild mittels der Linse L annähernd in der Ebene des Fadens U entsteht und samt diesem nach der Reflexion auf dem Spiegel Z von einem mikroskopischen Objektiv O auf die Skala M projiziert wird. Dabei entspricht ein Ausschlag von 2,5 mm auf der Skala dem Spannungsunterschied von 1 Volt auf der Nadel. Dieser Ausschlag ist im ganzen Bereich der Skala konstant.

Der Vorgang der eigentlichen Messung ist sehr einfach. Eine Minute nach erfolgter Zerstäubung wird das isolierte System auf einige Zeit (hier 4 Minuten) enterdet und nach deren Ablauf die vom Bild des Fadens des Elektrometers auf der Skala eingenommene Lage mit dem verschiebbaren Index I festgelegt. Der entsprechende Teilstrich der Skala gibt den Radongehalt in 1 Liter Wasser unmittelbar in Mache-Einheiten an. Bei den Messungen ist nur zu beachten, daß die einzelnen Vorgänge, d. i. das Zerstäuben des Wassers, die Enterdung des Elektrometers und die Ablesung der Aktivität in den vorgeschriebenen Zeitabständen vorgenommen werden. Die Messung geschieht nämlich in dem anfänglichen Teil der Ionisationskurve, wo der Strom infolge der Bildung induzierter Aktivität sehr rasch zunimmt. Eine Verschiebung des Ablesemoments um 1 Minute bewirkt hier einen Fehler von etwa 1 Proz.

Sofort nach beendeter Messung wird der Apparat mit dem Föhn gereinigt, welcher mit einem Schieber V mit der Ionisationskammer verbunden ist. Wird der Apparat 5 Minuten hindurch mit warmer Luft und hierauf 5 Minuten mit kalter Luft durchgeblasen, so ist nicht nur das Radon, sondern auch alle Wasserdämpfe aus der Ionisationskammer vollkommen entfernt. In einer halben Stunde sinkt der Normalstrom auf etliche Prozent der gemessenen Aktivität, und der Apparat ist wieder gebrauchsfertig. Die Bestimmung des Normalstromes geschieht vor jeder Messung, und zwar unmittelbar so wie die Bestimmung der Radioaktivität des Wassers, und sein Zahlenwert wird von jenem einfach abgezogen.

In Anbetracht der großen Abmessungen der Ionisationskammer wurde nie ein schädlicher Einfluß der Feuchtigkeit auf das Isolationsvermögen des Bernsteins während der Messung bemerkt, so daß keinerlei besondere Trocknungseinrichtung (mit Kalziumchlorid oder anderen chemischen Mitteln) notwendig ist.

Mit diesem Apparat konnte noch eine Aktivität von 2 Mache-Einheiten verläßlich festgestellt werden, allerdings unter der Voraussetzung, daß, sowie bei allen anderen Apparaten bei der Messung schwacher Aktivitäten, der Normalstrom nicht groß und hauptsächlich konstant ist.

II. Der Apparat zur Bestimmung des Radongehaltes in Gasen.

Dieser Apparat war speziell zur Messung der Radioaktivität der Luft im Bergwerk bestimmt und wurde deshalb als transportabler Apparat so konstruiert, daß seine Aufstellung an beliebiger Stelle keine besonderen Vorkehrungen erfordert. Die Meßapparatur ist in einem Kasten eingebaut (Fig. 3a und 3b), während die Ionisationskammern (5 an der Zahl) mit dem Gummiball und dem Absorptionskämmerchen sich in

einem besonderen Kasten befinden. Bei der Konstruktion wurde berücksichtigt, daß das Gewicht der einzelnen Bestandteile des Apparates möglichst klein bleibe. Deshalb erhielt die Ionisationskammer *I* die Gestalt einer Kugel, die bei einem Inhalt von 1,4 Liter nur 0,45 kg wiegt, und verschiedene Teile des Apparates wurden aus Elektronmetall hergestellt.

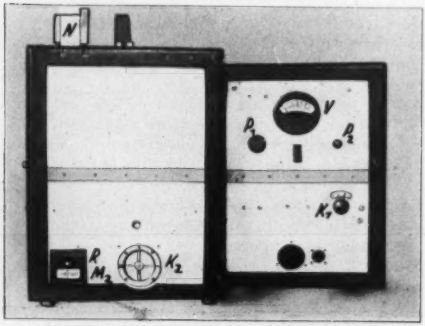


Fig. 3a.

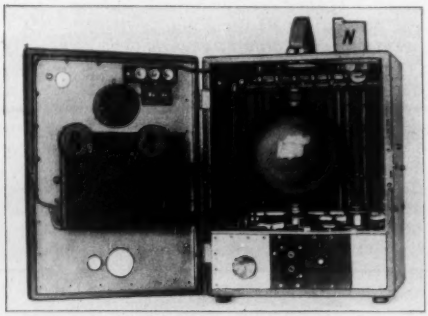


Fig. 3b.

Fig. 3. Gesamtansicht des Apparates zur Bestimmung des Radongehaltes in Gasen.

Auch für diesen Apparat wurde ein Lindemannsches Elektrometer verwendet, das sich besonders gut bewährt hat, da es gegenüber Abweichungen aus der Horizontalebene weitgehend unempfindlich ist und somit keine Justierung erfordert. Weil sich aber die Weston-Batterien für einen transportablen Apparat nicht bewährt hatten, wurden für die Hilfsspannung normale, runde Trockenelemente für Taschenlampen verwendet, die ein relativ kleines Gewicht haben[1]). Insgesamt 45 solcher Elemente von 1,5 Volt mittlerer Spannung pro Element sind in 9 Pertinax-Rohren untergebracht, die an der einen Tür des Kastens befestigt sind. Jedes dieser Rohre kann einzeln herausgenommen werden, um die Elemente auszuwechseln. Außerdem sind die Rohre bei jedem Element gelocht, um die Spannung der Elemente einzeln kontrollieren zu können. Diese Kontrolle wird mit einem kleinen Voltmeter *V* (Fig. 4) vorgenommen, das 2 Meßbereiche hat und gleichzeitig zur Kontrolle der ganzen Batterie *B* dient. Die Elemente sind in Serie geschaltet, und diese Batterie ist ebenfalls asymmetrisch geerdet, derart, daß die konstante Spannung beider Quadrantenpaare im Verhältnis 3 : 2 steht. Dies dient dem gleichen Zweck, die Nullage der Nadel an den Rand der Skala zu verschieben und die notwendige optische Vergrößerung der Nadelabweichung des Elektrometers zu beschränken.

In den Stromkreis wurden hohe Widerstände geschaltet, ferner ein Schalter K_1 (Fig. 4), so daß jener unterbrochen bleiben kann, wenn der Apparat außer Tätigkeit ist. Außerdem wurden in den Kreis der Batterie zwei Potentiometer P_1 und P_2 geschaltet, wobei P_1 dauernd fixiert ist und das Spannungsverhältnis der beiden Sektionen festlegt, während P_2 zur Erhaltung der konstanten Spannung und somit zur Einstellung der Nadel des Elektrometers in die richtige Nullage beim etwaigen Sinken der Spannung dient. Das Elektrometer dient nur als Nullindikator, da der Ionisationsstrom durch einen Strom entgegengesetzter Richtung kompensiert wird.

Zu diesem Zwecke ist die Nadel des Elektrometers *E* dauernd mit der auf Bernstein isolierten Elektrode *A* eines kleinen Ionisationskämmerchens verbunden. Über dieser Elektrode befindet sich eine halbkreisförmige Platte *D*, die mit dem Drehknopf *R* um die vertikale Achse des Kämmerchens gedreht werden kann. Gleichzeitig mit der Platte *D* wird auch die mit der Achse konzentrische Skala M_2 gedreht. Den Deckel des Ionisationskämmerchens bildet eine hohle Kapsel *C* aus Elektronmetall, an deren Boden ein dünner halbkreisförmiger Silberstreifen *F* befestigt ist, auf dem $RaD + E + F$ im Gleichgewichtszustand deponiert wurde[1]). Die α-Strahlung des Poloniums (RaF) dringt durch einen ebenfalls halbkreisförmigen Spalt *O* in die Ionisationskammer, sobald diese nicht mit der Platte *D* zugedeckt ist, der Ionisationsstrom zwischen der mit dem einen Pol der Batterie verbundenen Platte *D* und der Elektrode *A* wächst mit der Drehung der Platte *D*. Dieser Strom hat entgegengesetzten Sinn als der

1) Ein solches Element wiegt durchschnittlich 21 g.

1) Das Präparat muß genügend alt sein, damit nicht ein Schwanken der Aktivität infolge Diffusion von RaF-Atomen in das Metall entsteht.

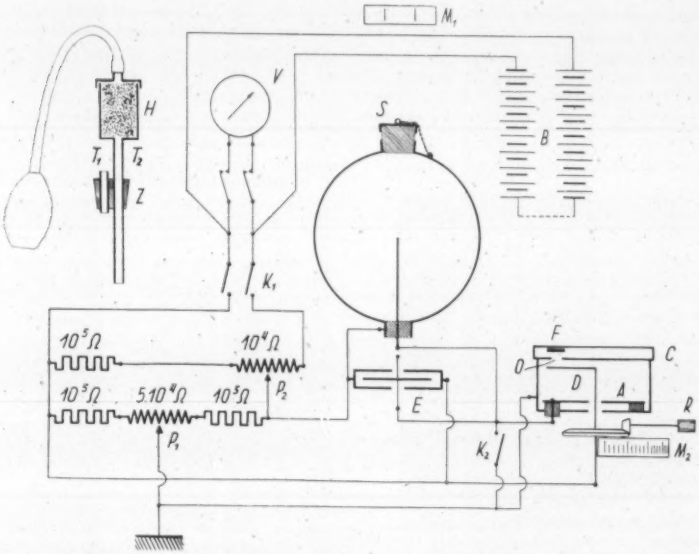


Fig. 4. Schema des Apparates zur Bestimmung des Radongehaltes in Gasen.

Strom in der kugelförmigen Ionisationskammer, die mit dem anderen Pol der Batterie B verbunden ist. Die Platte D wird so lange gedreht, bis beide Ströme einander aufheben und die enterdete Nadel des Elektrometers keine Bewegung mehr zeigt. An der Skala M_2 wird nun die in 1 Liter Gas enthaltene Menge Radon unmittelbar in Mache-Einheiten abgelesen. Die Eichung der Skala wird auf einfache Art empirisch vorgenommen, indem in der Kugelkammer eine bekannte, aus einer Standardradiumlösung extrahierte Menge Radon gemessen wird.

Die Entnahme der Gasprobe aus der Luft eines Raumes oder eines anderen Ortes, wo die Atmosphäre radioaktiv ist, geschieht in der Weise, daß der Gummipfropf S der Kugelkammer abgenommen und durch den Pfropf Z ersetzt wird, durch den 2 Röhrchen T_1 und T_2 gehen. Eines von ihnen hat einen aufgesetzten Behälter mit trocknendem Material[1]) und dahinter einen angesetzten Schlauch mit Gummiball, durch dessen Drücken die äußere Luft durch die Ionisationskammer getrieben wird. Nach mehrminutiger Betätigung des Gummiballs ist die Luft in der Kammer durch die äußere Luft ersetzt und kann gemessen werden. Bei dieser Messung ist zu beachten, daß praktisch die gesamte induzierte Aktivität in der Trocknungssubstanz absorbiert wird, und man entweder den Gleichgewichtszustand zwischen dem Radon und $RaA \ldots C$ abwarten muß, da für diesen Zustand der Apparat geeicht ist, oder aber eine Korrektur auf den Gleichgewichtszustand anwenden kann[1]). Die Reinigung der Ionisationskammer geschieht in derselben Weise wie das Einbringen des aktiven Gases; es genügt aber, die Ionisationskammer in einem trockenen und unaktiven Raum einfach zu öffnen. Ihre Öffnung ist hinreichend groß, so daß in kurzer Zeit das gesamte Radon aus der Kammer entweicht.

Im vorliegenden Fall ist der Meßbereich des Apparates auf 0—10 Mache-Einheiten eingestellt, obgleich eine einfache Änderung der Spaltbreite O in der Kompensationskammer eine Erweiterung des Meßbereiches um ein Vielfaches ermöglicht. Auf andere Weise wäre dies auch durch die Wahl entsprechend kleinerer Ionisationskugelkammern zu erreichen. Mit diesem Apparat lassen sich noch Aktivitäten von 0,2 Mache-Einheiten mit einer Genauigkeit von $\pm$ 20 Proz.

1) Zum Trocknen wurde hier das Präparat der Cambridge Instrument Co. „Sorbsil" verwendet, dessen trocknende Eigenschaft man durch längeres Erhitzen auf 220° C regenerieren kann.

1) Diese beträgt bei einer Messung nach 0,5 Stunden nach Entnahme der Probe 1,28, nach 1 Stunde 1,15, nach 2 Stunden 1,03. Mit diesen Werten wird die abgelesene Aktivität multipliziert.

leicht feststellen; bei der Größenordnung von einigen Mache-Einheiten steigt die Genauigkeit bis auf ± 5 Proz. Ein etwaiger Nachteil dieses Apparats wäre die Verwendung des *RaD* als Quelle des Kompensationsstromes, da dieses Element eine merkliche zeitliche Abnahme aufweist, die ungefähr 3,1 Proz. im Jahr beträgt; er läßt sich aber durch ein einfaches, einmal im Jahr durchgeführtes Zurichten der Skala korrigieren. Andernfalls genügt es, die Ablesung in bezug auf den Zerfall des *D*-Radiums zu korrigieren, d. i. sie um je 3,1 Proz. für jedes seit der Eichung des Apparates verflossene Jahr zu verkleinern. Die Verwendung von Uranoxyd anstatt $RaD + E + F$ ist hier mit Rücksicht auf die unscheinbare Intensität seines Ionisationsstromes bei den gegebenen Abmessungen der Kompensationskammer nicht möglich.

Die Projektion der Bewegung der Nadel des Elektrometers geschieht auf gleiche Art wie beim vorherigen Apparat, nur wird hier das Bild des Fadens der Nadel direkt nach oben auf die Skala M_1 projiziert, die am Deckel des Kastens angebracht ist. Auf dieser Skala sind nur zwei Stellungen der Nadel angezeichnet, und zwar die Nullstellung, wenn die Quadranten des Elektrometers ohne Hilfsladung sind, und die Nullstellung, wo die Quadranten die entsprechende Ladung haben. Die Skala wird durch einen Klappverschluß N geschützt, der sich durch Drücken einer Feder, ähnlich wie bei photographischen Apparaten, selbsttätig öffnet. Das Elektrometer wird mit dem Schlüssel K_2 enterdet, der eigentlich die Verbindung der Nadel mit dem metallischen Gehäuse des Apparates herstellt; eine besondere Erdung ist hier nicht nötig. Die Beleuchtung der Skala geschieht durch eine Taschenlampenbatterie, doch man kann dazu auch Netzstrom über einen kleinen Transformator verwenden.

Die beschriebenen Apparate wurden von den Mechanikern K. Černovsky und J. Špirk angefertigt, denen für die sorgfältige Ausführung hiermit Dank ausgesprochen sei.

Zusammenfassung.

Es werden 2 Apparate zur unmittelbaren Bestimmung der Konzentration des Radons in Wasser und in Luft ohne Berechnungen beschrieben. Der erste, zur Analyse von Wässern bestimmte Apparat, hat 2 Meßbereiche von 0–70 und von 0–700 Mache-Einheiten.

Der andere Apparat dient zur Messung der Radioaktivität der Luft mittels einer Kompensationsmethode. Der Apparat ist tragbar und hat einen Meßbereich von 0–10 Mache-Einheiten.

Prag, Staatlich radiologisches Institut, Oktober 1935. (Eingegangen 30. Oktober 1935.)

Impulszähler für rasch aufeinanderfolgende Impulse.

Von J. Barnóthy und M. Forró.

Die Schwankungsmessungen der Ultrastrahlung mit der Koinzidenzmethode machen die Verwendung immer größerer Zählrohrdimensionen erforderlich. Damit werden aber die Zählrohrimpulszahlen in der Zeiteinheit immer größer, so daß deren Bestimmung mit einem mechanischen Zählwerk nicht mehr möglich ist. Ebenso genügt das Auflösungsvermögen von $2 \cdot 10^{-2}$ sec [1]), welches mit einem mechanischen Zählwerk erreicht werden kann, nicht, um die Koinzidenzzahlen bei einer Apparatur mit großem Öffnungswinkel und großen Zählrohrflächen dauernd zu registrieren. Denn wenn auch das Zählwerk nur einige Prozente der Gesamtimpulszahl verschluckt, so ist wegen der Inkonstanz des Auflösungsvermögens mechanischer Zählwerke der Fehler nicht mehr vernachlässigbar. Es hat sich daher als notwendig erwiesen, eine Zählanordnung zu schaffen, deren Auflösungsvermögen den genannten Anforderungen entspricht und das nur jeden n-ten Stoß zum mechanischen Zählwerk weiterführt, wobei n so groß sein soll, daß der n-te Teil der Impulse vom Zählwerk bewältigt werden kann. In der Literatur finden sich für solche Zwecke Zählschaltungen z. B. von Wynn-Williams [2]), von Lord und Livingston [3]), von Teichmann [4]) und von Alfvén und Ohlin [5]). All die genannten Schaltungen haben aber den Nachteil, daß sie bei so großem n, wie es in den angeführten Ultrastrahlungsmessungen erforderlich ist, verhältnismäßig umständlich werden. Wir glauben daher, daß die nachfolgend beschriebene Zählschaltung wegen ihrer Einfachheit und Betriebssicherheit mit Vorteil verwendbar sein wird.

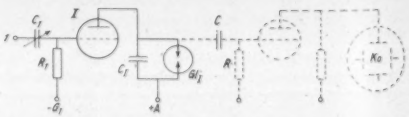


Fig. 1.

Die Wirkungsweise der Schaltung ist aus Fig. 1 ersichtlich. Im Ruhezustand ist durch

1) E. Schopper, Zeitschr. f. Phys. **93**, 1, 1934.
2) C. E. Wynn-Williams, Proc. Roy. Soc. London (A) **136**, 312, 1932.
3) H. W. Lord und O. W. Livingston, Electronics, S. 7, Januar 1934.
4) H. Teichmann, Physik. Zeitschr. **35**, 299, 1934.
5) H. Alfvén und P. Ohlin, Zeitschr. f. Phys. **90**, 416, 1934.

entsprechende Gittervorspannung der Anodenstrom der Röhre I gesperrt, der Kondensator C_1 ist durch die Entladung der Glimmlampe Gl_1 auf deren Löschspannungswert entladen, und so

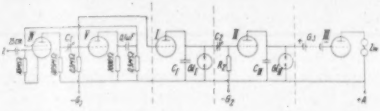


Fig. 2. $C_1 = 500$ cm, $C_1' = 5000$ cm, $C_2 = 300$ cm, $C_{II} = 50000$ cm, $R_2 = 1$ MΩ.
Röhren III und V Endverstärker; I und II Röhren mit ungefähr 10 Proz. Durchgriff.

besteht in Gl_1 keine Entladung. Werden nun der Anordnung positive Spannungsstöße im Punkt 1 zugeführt, so fließt während der Dauer jedes Stoßes der Anodenstrom der Röhre I und ladet zum Teil C_1 negativ auf. Fig. 3, 4 und 5 zeigen Kathodenstrahloszillogramme des Spannungsverlaufes an den Kondensatorbelegen von C_1 bzw. der Glimmlampenelektroden von Gl_1 bei drei verschiedenen Werten von C_1. [Der Oszillograph wurde in der punktiert angedeuteten Weise angeschlossen, und an Punkt 1 wurden periodische, rechteckige Kippschwingungen (400 pro sec) zugeführt. Lineare Zeitablenkung von links nach rechts.] Wird nach einer bestimmten Anzahl, n, von Einzelimpulsen (in den

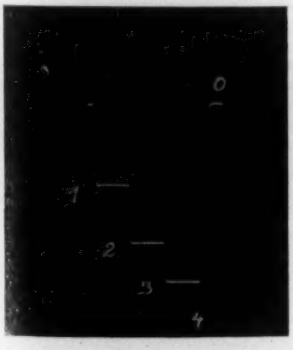


Fig. 3. $C_1 = 100000$ cm.

Oszillogrammen $n = 4$) der Spannungsunterschied an den Belegen von C_1 größer als die Zündspannung der Glimmlampe, so wird Gl_1 gezündet und entlädt ihrerseits den Kondensator C_1 wieder (4 — 0), wonach sie erlöscht (0). Der Vorgang: sukzessive Aufladung von C_1 bis Zündung von Gl_1 (0 — 4) kann sich nunmehr wiederholen. Damit aber die Zündung der Glimmlampe immer nur nach einer bestimmten Anzahl n von Impulsen erfolgt, müssen die Impulse gleich sein. Haben die ankommenden Spannungsstöße:

1. vollkommen gleichartigen Verlauf und eine Höhe und Zeitdauer, die zur Aussteuerung der Röhre I ausreicht, so kann die Einstellung der durch die einzelnen Stöße gelieferten

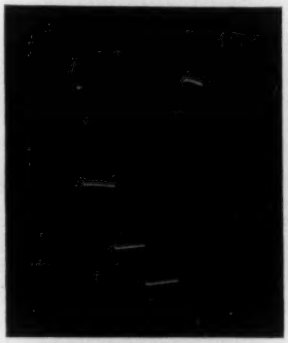


Fig. 4. $C_1 = 20000$ cm.

Elektrizitätsmenge und so der Stufenzahl n bis zur Zündung von Gl_1 durch passende Ein-

Fig. 5. $C_1 = 5000$ cm.

stellung der Vorspannung ($-G_1$) der Röhre I erfolgen;
2. zwar gleiche und genügende Höhe, aber ungleiche Zeitdauer, so kann man — sofern der Anstieg genügend steil ist — die Zeitdauer durch einen Kondensator und Ableitwiderstand (C_1, R_1) auf gleiche Länge bringen und

die Einstellung der Stufenzahl am bequemsten durch die Verstellung von C_1 vornehmen;

3. einen ungleichen Verlauf oder keine genügende Höhe oder Zeitdauer, so empfiehlt es sich, durch die ankommenden Impulse eine Kippschwingung auslösen zu lassen und durch diese die Aufladung des Kondensators zu bewirken.

Eine für solche Zwecke brauchbare Schaltung für negative Impulse findet sich im linken Teil der Fig. 2. Die zwei Röhren IV und V in rückgekoppelter Widerstandskapazitätschaltung liefern rechteckige Spannungsstöße. Dem Gitter der Röhre V gibt man eine solche negative Vorspannung, daß die Kippschwingungen sich nicht von selbst erregen können. Die zu messenden Stöße werden dem Punkt 2 zugeführt. Für positive Stöße nimmt man statt der Röhre V eine Doppelgitterröhre. Die Schaltung hat den Vorteil, daß die Rückwirkung auf die die zu messenden Stöße liefernde Apparatur, wie auch deren Belastung äußerst gering ist. Die Länge der Spannungsstöße und somit die Stufenzahl wird durch Verstellen von C_1 verändert.

Benötigt man eine größere Unterteilung als mit einem Glimmlampenkreis zu erreichen ist, so können weitere Glimmlampenkreise, wie rechts in der Fig. 2 ersichtlich, angeschlossen werden. Durch die Entladung der letzten Glimmlampe wird über eine Verstärkerröhre III (oder über ein Dreielektrodenglimmrelais) das mechanische Zählwerk (Zw) betrieben. Wenn der erste Kreis jeden $n$ten Impuls, der zweite jede $m$te Zündung des ersten Kreises zählt, so registriert das angeschlossene Zählwerk jeden $N = n \cdot m$-ten Einzelimpuls. Der Fehler, der dadurch entsteht, daß man am Zählwerk die augenblickliche Impulszahl nur mit einer Ungewißheit von $\pm N/2$ ablesen kann, ist in den praktisch ausführbaren Fällen gegenüber der statistischen Schwankung immer vernachlässigbar.

Die Betriebskontrolle sowie die gewünschte Einstellung der Anordnung erfolgt mit einem Elektrometer, welches für diese Zeit an die Elektroden von Gl_1 (bzw. von Gl_{11}) angeschlossen wird. Bei jeder Glimmlampe wird mit dem zugehörigen Gitterkondensator C_1 (bzw. C_2) die Stufenhöhe so eingestellt, daß der Zündpunkt in die Mitte des Spannungssprunges bei der n-ten (bzw. m-ten) Entladungsstufe kommt. Zu Beginn der Messung empfiehlt es sich, die Elektronenröhren einige Stunden lang einbrennen zu lassen, Glimmlampen mit womöglich großer Spannungsdifferenz zwischen Zünd- und Löschpunkt zu verwenden und für die Konstanz der Anodenspannung zu sorgen. Bei Entnahme aus dem Netz genügt ein Glimmlampenstabilisator. Sämtliche Elektronenröhren können gemeinsame Heiz- und Anodenspannung erhalten. Als Glimmlampen haben wir die im Handel erhältlichen Osram-Signallampen nach Entfernung des eingebauten Widerstandes verwendet, bei denen die Zündlöschspannungsdifferenz ungefähr 15 bis 32 Volt beträgt. Mit jedem Glimmlampenkreis kann man bei Dauermessungen mit täglich einmaliger Kontrolle betriebssicher bis zur Zählung jedes fünften Impulses gelangen, da nach unserer Erfahrung eine fehlerhafte Zählung infolge Veränderung der Emission der Röhren nur nach 50–100 Stunden eintritt. Für kurzzeitige Messungen kann man bei genügender Vorsicht bis zur Zählung jedes zehnten Impulses pro Glimmlampenkreis gelangen.

Wie aus den Oszillogrammen zu entnehmen ist, hängt das Auflösungsvermögen von der Zündverzögerung (4) der Glimmlampe Gl_1, Entladezeit des Kondensators C_1 durch die Glimmlampe (4–0) (Rückkippzeit) und der Aufladezeit von C_1 in den einzelnen Stufen durch die Röhre I ab. Diese Größen wurden mittels des Kathodenstrahloszillographen bei großen Frequenzen bestimmt. Wir fanden bei der verwendeten Osram-Signallampe mit 32 Volt Zündlöschspannungsunterschied folgende Werte:

1. Die Zündverzögerung hängt davon ab, wie weit die Zündspannung durch die letzte Aufladungsstufe überschritten wird und wächst mit größer werdender Stufenzahl von 4 auf $7 \cdot 10^{-7}$ sec. (Unrichtige Einstellung der Stufenhöhe kann die Zündverzögerung um eine Größenordnung verlängern.)
2. Die Rückkippzeit hängt von der Größe des Kondensators C_1 ab und wurde bei
   $C_1 = 100000$ cm zu $10{,}5 \cdot 10^{-4}$ sec
   $C_1 = 20000$ cm zu $4{,}2 \cdot 10^{-4}$ sec
   $C_1 = 5000$ cm zu $2{,}0 \cdot 10^{-4}$ sec
   gemessen.
3. Um kurze Aufladezeiten zu erreichen, sind rechteckige Spannungsstöße von kurzer Zeitdauer, große Anodenströme und kleine Kapazität C_1 erforderlich. Bei einem maximalen Anodenstrom von 6 mA und $C_1 = 100000$ cm wurde im Mittel $2 \cdot 10^{-4}$ sec gemessen. Daraus berechnet sich für $C_1 = 5000$ cm die Aufladezeit zu $1 \cdot 10^{-5}$ sec.

Wie ersichtlich, ist bei $C_1 = 5000$ cm auch die Summe der Aufladezeiten gegenüber der Zündverzögerung und der Rückkippzeit vernachlässigbar; und das Auflösungsvermögen ergibt sich als Summe der beiden letztgenannten zu $\vartheta = \frac{1}{4000}$ bis $\vartheta = \frac{1}{3000}$ sec. Bis zu 3100 Kippungen pro sec war aus dem Oszillogramm auf ein fehlerloses Arbeiten zu schließen.

Ein Verschlucken von Stößen kann entstehen, wenn ein Stoß während der Rückkippzeit oder während der Zündverzögerung eintrifft. Ist K die Zahl der ankommenden und Z die Zahl der verschluckten Stöße in Bruchteilen von K, so ist

$$Z = \frac{1}{n}(1 - e^{-\varkappa\vartheta})$$

oder wenn $\varkappa\vartheta \ll 1$

$$Z = \frac{1}{n}\varkappa\vartheta .$$

Es sei bemerkt, daß bei Zählrohrimpulsen eine Zeitdifferenz von $^1/_{4000}$ sec zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stößen gar nicht vorkommen kann, da die Zählrohre längere Zeiten benötigen, um nach einem Stoß wieder ansprechen zu können.

Die auf jedem Oszillogramm ersichtliche sukzessive Erniedrigung der Stufenhöhe bis zur n-ten Stufe ist durch die parallel laufende Erniedrigung der Anodenspannung an der Röhre I verursacht. Um zu verhüten, daß die letzten Stufen zu klein werden, ist bei größerer Stufenzahl die Anodenspannung entsprechend hoch zu wählen oder eine Röhre mit Sättigungsstrom oder eine Schirmgitterröhre an der Stelle der Röhre I zu verwenden. In Fig. 5 sind die einzelnen Stufenlinien stark gegen die Horizontale geneigt, was davon herrührt, daß die Übertragung auf den Oszillographen (siehe Fig. 1) mittels einer Zwischenröhre mit großem Gitterkondensator C erfolgte und so der Gitterableitwiderstand R durch diesen Kondensator die kleine Kapazität C_1 je nach seiner Spannung schon zwischen zwei Impulsen merkbar auflud (Stufe 4 und 1) oder entlud (Stufe 2 und 3). Woraus folgt, daß bei der Kopplung der nächsten Verstärkerröhre entweder ein — im Verhältnis zu C_1 — kleiner Gitterkondensator oder ein so großer Gitterableitwiderstand zu verwenden ist, daß die Zeitkonstante $C_1 \cdot R_2$ groß gegenüber der durchschnittlichen Zeitdifferenz der ankommenden Impulse sei, oder aber eine galvanische Kopplung anzuwenden ist. In den beiden letzteren Fällen ist auch darauf zu achten, daß die Steuerung der nächsten Röhre ganz im gitterstromlosen Bereich verlaufe. Die galvanische Kopplung der Endverstärkerröhre hat den Vorteil, daß die Einstellung bei viel kleinerer Impulszahl als wie im Betrieb vorgenommen werden kann. Die Gitterbatterie (G_3) bzw. die Federspannung des Zählwerkes ist so einzustellen, daß ein Freilassen des Ankers erst bei der ungefähr $m/2$-ten Zündung von Gl_{11} erfolge. (Bemerkt sei, daß die letzte Glimmlampe auch durch einen Hilfskontakt an dem mechanischen Zählwerk ersetzt werden kann.)

Sollte sich für gewisse Untersuchungen eine weitere Erhöhung des Auflösungsvermögens notwendig machen, so kann man bei Wasserstoffüllung der Glimmlampe und sehr kleiner Kapazität C_1, wahrscheinlich bis zu $\vartheta = 1 \cdot 10^{-5}$ sec Auflösungsvermögen kommen.

Außer der Bestimmung von Impulszahlen von Zählrohren (700 in der Minute) wurde die Schaltung auch für die Registrierung von 2-fach-Koinzidenzen (150 in der Minute) während 700 Stunden verwendet.

Die Schaltung kann selbstverständlich nicht nur für die Zwecke der Ultrastrahlungsmessungen, sondern zu jeglichen anderen Zwecken verwendet werden, sofern nur die zu zählende Größe — evtl. nach entsprechender Umformung — in die Gestalt eines Spannungsstoßes zu bringen ist.

Wir danken dem Leiter des Institutes für Experimentalphysik, Herrn Professor Dr. Karl Tangl, sowie dem Ungarischen Landesenat für Naturwissenschaften für die Ermöglichung dieser Arbeit.

Budapest, den 21. Januar 1936, Institut für Experimentalphysik der Universität.

(Eingegangen 29. Januar 1936.)

Zur Druck- und Temperaturabhängkeit des Wiedervereinigungskoeffizienten und der Ionisation durch Gammastrahlen in Luft und Kohlensäure[1]).

Von W. Mächler.

Für die theoretische Behandlung der Elektrizitätsleitung in Gasen bei höheren Drucken, wie sie jetzt fast ausschließlich in Ionisationskammern angewandt werden, fehlten bisher experimentelle Bestimmungen des Wiedervereinigungskoeffizienten α, da die Messungen P. Langevins[2]) über 5 Atm. in Luft und 3,13 Atm. in Kohlensäure nicht hinausgehen.

Im folgenden soll daher über die Ergebnisse der Messungen von α nach der Abklingungsmethode berichtet werden, die sich bis zu 25 Atm. erstreckten und bei den Temperaturen 18° C und 52° C vorgenommen wurden. Bei den Abklingungskurven lagen die Ionenkonzentrationen vermöge des starken Ionisators (40 mg Radium) zwischen $800 \cdot 10^3$ und $40 \cdot 10^3$ Ionen/cm³. Die in den Fig. 1 und 2 dargestellten Werte beziehen sich auf Atmosphärenüberdruck in kg/cm².

1) Auf der Gautagung in Dresden, Januar 1935, in dankenswerter Weise für den erkrankten Autor durch Herrn Prof. Dr. G. Hoffmann in den Ergebnissen vorgetragen.

2) P. Langevin, Ann. chim. phys. **28**, 433, 1903.

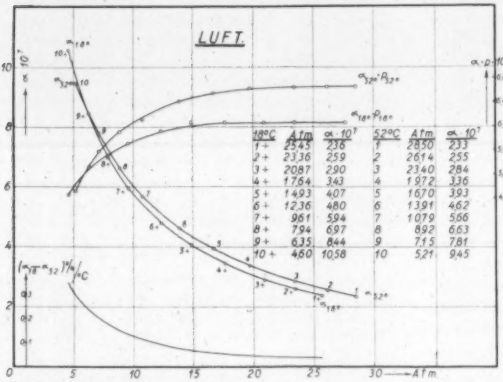


Fig. 1.

Die gefundenen Zahlenwerte, deren wahrscheinliche Fehler unter 1 Proz. liegen, schließen sich sehr gut an die Langevins an. Wie aus dem Verlauf der Kurven ersichtlich, scheint die Beziehung $\alpha \cdot p =$ konstant in Luft für Drucke oberhalb 15 Atm. weiter zu gelten, in Kohlensäure dagegen sinkt der Wert $\alpha \cdot p$ langsam, nachdem er bei 8 Atm. ein Maximum erreicht.

Die Temperaturabhängigkeit des Wiedervereinigungskoeffizienten, die sich auf Messungen bei konstanter Gasdichte und einem Temperaturunterschied von 34° C bezieht, ist in Luft von gleicher Art, wie sie H. A. Erikson[1]) bei seinen Messungen gefunden hat, d. h. α nimmt bei höherer Temperatur ab. In Kohlensäure hingegen nimmt α bei Temperaturerhöhung zu, aber die geringe Zunahme liegt fast im Fehlerbereich, so daß hier nur festgestellt werden kann, daß der Temperatureinfluß bei Kohlensäure schon von Drucken oberhalb 4 Atm. sehr klein ist.

Eine Abhängigkeit des Wiedervereinigungskoeffizienten von der Zeit nach Schluß der Ionisierung, wie von Plimpton, Marshall und Luhr[2]) bei Normaldruck gefunden wurde, konnte hier nicht beobachtet werden, was wohl auf die homogene Volumenionisation durch die γ-Strahlung, die geringe Diffusion bei hohen Drucken, wie auf die verhältnismäßig starke Alterung der Ionen (älter als 0,2 Sekunden) zurückzuführen ist.

Eine Prüfung der Abklingungskurven zeigte, daß die gewöhnliche Rekombination auch bei höheren Drucken streng dem Gesetze $dn/dt = -\alpha n^2$ unterliegt. Ein Vergleich der experimentellen Ergebnisse mit den nach der Theorie von Langevin berechneten Werten gibt eine gute Übereinstimmung, dagegen sind die nach der Harperschen Formel[3]) erhaltenen Werte beträchtlich zu groß.

Die mit einer Genauigkeit von 1 pro mille im Schutzring-Plattenkondensator gemessenen Strom-Spannungscharakteristiken im gleichen Druck- und Temperaturbereich ergaben eine Abhängigkeit des Temperaturkoeffizienten von der Feldstärke in dem Sinne, daß der Temperatureffekt mit wachsender Feldstärke abnimmt. Bei Feldstärken, die der Sättigung genügen, verschwindet der Temperatureffekt nach Untersuchungen von Clay und van Tijn[4]) sogar vollständig. Durch diese Feldstärkenabhängigkeit des Temperaturkoeffizienten sind auch die Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Beobachter zu erklären, da sich die gemessenen Ionenströme aus Ionen zusammensetzten, die den verschiedensten Feldstärken unterlagen. Um die Stromerhöhung in pro mille pro Grad Celsius in Abhängigkeit vom Druck in Fig. 3 darzustellen, wurde über sieben Werte in dem Bereich der Feldstärken von 37–113 Volt/cm gemittelt.

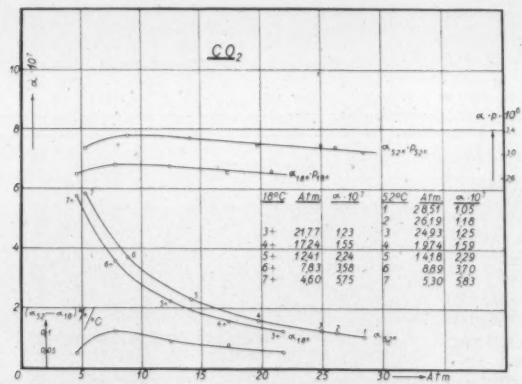


Fig. 2.

1) H. A. Erikson, Phil. Mag. (6) **18**, 328, 1909.

2) Handb. d. Phys. 22/1. Art. Przibram, S. 380.

3) W. R. Harper, Proc. Cambr. Phil. Soc. **28**, 219, 1932.

4) J. Clay und M. A. van Tijn, Physica Vol. 2, 825, 1935.

Der Verlauf des Temperaturkoeffizienten der Luft zeigt nun im Gegensatz zu dem der Kohlensäure, der ähnlich einer Sättigungskurve anwächst, ein merkwürdiges Verhalten, er nimmt nach anfänglicher Zunahme bis 17 Atm. wieder ab. Da alle Untersuchungen, die darauf hinausliefen, diesen nicht erwarteten Verlauf des Temperaturkoeffizienten durch irgendwelche Fehlerquellen aufzuklären, erfolglos waren, muß der in Fig. 3 gezeichnete Verlauf für reell angenommen werden. Erhärtet wird diese Annahme noch dadurch, daß Gingrich[1]) bei seinen Untersuchungen über die Temperatur- und Druckabhängigkeit der Ionisation durch γ-Strahlen auch bei 10 Atm. einen Temperatureffekt findet, der größer war, als nach dem vorausgegangenen Verlauf desselben geschlossen werden mußte. Er gibt auf S. 680 an, daß „ein Irrtum von 10 Atm. nötig sei, um mit dem Wert von 20 Atm. übereinzustimmen". Gingrich befand sich demnach auf den Kurvenästen zu beiden Seiten des Maximums, wo eine Druckdifferenz von 10 Atm. vorliegt, um auf den Temperaturkoeffizienten von gleicher Größe zu kommen.

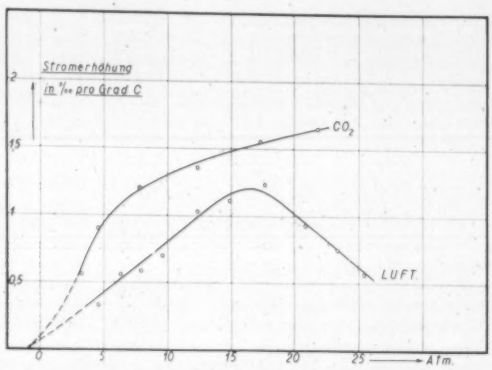


Fig. 3.

Die ausführliche Veröffentlichung vorliegender Arbeit erscheint demnächst.

1) N. S. Gingrich, Phys. Rev. **41**, 679, 1932.

Halle a. d. Saale, Institut für experimentelle Physik.

(Eingegangen 10. Februar 1936.)

Die Zerstörung einer adsorbierten Sperrschicht durch Druck.

Von F. Trey.

Inhalt: Geismann[1]) hat durch Versuche im Vakuum gezeigt, daß man durch allmähliches Abbauen der adsorbierten Sperrschicht die Detektorwirkung eines *PbS*-Präparates zum Verschwinden bringen kann. Eine ganz ähnliche Wirkung erhält man, wenn man eine als Detektor wirkende *PbS*-Pastille einem intensiven Druck unterwirft. Die Größe des erforderlichen Druckes ist beträchtlich, etwa 4000 kg/cm².

Bekanntlich[2]) kann man gut wirkende Detektoren herstellen, indem man feines *PbS*-Pulver preßt und die erhaltene Pastille für kurze Zeit auf etwa 150° erhitzt. Untersucht man die Oberfläche einer solchen Pastille an mehreren Punkten, so findet man auf der ganzen Fläche eine recht gleichmäßige gleichrichtende Wirkung oder Unipolarität. Darauf beruht die Möglichkeit, die unipolaren Eigenschaften eines solchen Präparates durch eine Zahl wiederzugeben, nämlich durch den Mittelwert aus den an mehreren Punkten erhaltenen Quotienten: Stromstärke in der Durchlaßrichtung durch Stromstärke in der Sperrichtung. Ich habe nun eine solche Detektorpastille von neuem gepreßt; dann verschwand, wenn der Druck groß genug war, die Unipolarität. Durch abermaliges Erhitzen konnte man sie jedoch wieder hervorrufen. Man vermag so die Unipolarität zu wiederholten Malen zu vernichten und wieder neu zu erzeugen.

Es kam mir nun darauf an, festzustellen, wie groß der Druck sein muß, damit die Unipolarität verschwinde. Zu diesem Zweck wurde eine Reihe möglichst gleicher Präparate ausgesucht. Die mittlere Unipolarität, an je zehn verschiedenen Stellen gemessen, schwankte zwischen 11 und 15, d. h. die Stromstärke war in der Durchlaßrichtung durchweg mehr als zehnmal größer als in der Sperrichtung. Die Präparate wurden verschieden stark gepreßt und gleich darauf untersucht. Es ergab sich, daß die Unipolarität, wie aus der Tabelle I ersichtlich, erst bei 4000 kg/cm² praktisch verschwindet. Ein Druck von nur 500 kg/cm² z. B. verändert die Unipolarität, wie man sieht, kaum merklich.

1) H. Geismann, Über Detektoren, Physik. Zeitschr. **36**, 132, 1935.
2) F. Trey, Physik. Zeitschr. **26**, 859, 1925.

Tabelle I.

Druck in kg/cm²	Unipolarität		Abnahme in Proz.
	Vor dem Pressen	Nach dem Pressen	
500	11	10	9
2000	15	9,7	35
3000	15	4,3	78
4000	11	1,3	88
5000	14	1,1	92
6000	11	1,1	90
8000	13	1,2	91

Es wurde ferner untersucht, ob durch den Druck das Material selbst, also das *PbS*-Pulver, verändert wird oder ob nur eine Beeinflussung der Oberfläche des Präparates vorliegt. Zu diesem Zweck wurden von einigen Präparaten Debye-Scherrer-Aufnahmen gemacht. Es zeigten sich jedoch keinerlei Unterschiede zwischen den unipolar wirkenden und den durch Pressen unwirksam gemachten Präparaten. Meine Annahme, daß es sich beim Erhitzen der Pulver um einen Rekristallisationsvorgang handeln könne, hat sich also nicht bestätigt. Mithin bleibt es, in Übereinstimmung mit Geismann, dabei, daß es sich beim Pressen um eine Verdrängung der adsorbierten Gashaut handeln müsse. Dadurch wird auch die Größe des erforderlichen Druckes verständlich. Bei einem Druck von 4000 kg/cm², und nicht früher, beginnt nämlich das *PbS* plastisch deformierbar zu werden, und seine Oberfläche bekommt einen charakteristischen metallisch spiegelnden Glanz. Es wird also hier durch den Druck dasselbe erreicht, was Geismann durch Abschaben oder Evakuieren erzielt. Ein Unterschied besteht scheinbar darin, daß die adsorbierte Haut nach dem Pressen sich bei Zimmertemperatur nicht so schnell wiederbildet, wie das bei den Geismannschen Präparaten der Fall ist.

In gewissem Sinn ist die hier untersuchte Erscheinung dem Versagen eines Detektors gleichzusetzen, wenn die Nadel zu stark auf den Kristall drückt. Es genügt dazu mitunter schon eine Belastung von 10–15 g. Daraus läßt sich jedoch die Größe des Druckes nicht berechnen, da die wirksame Fläche der Nadelspitze unbekannt ist. Nehmen wir aber an, daß auch in diesem Fall ein Druck von 4000 kg/cm² erforderlich ist, um die adsorbierte Gashaut zu verdrängen oder zu durchstoßen, so läßt sich umgekehrt die Größe der Kontaktfläche eines Detektors schätzungsweise berechnen. Man erhält für diese ungefähr $2 \cdot 10^{-4}$ mm². Das entspricht, wenn man die Kontaktfläche kreisförmig annimmt, einem Durchmesser von etwa $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ mm, was ganz plausibel erscheint.

Die Versuche sind im Physikalischen Institut der Universität Lettlands ausgeführt worden.

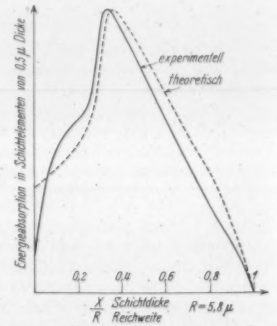
(Eingegangen 5. Februar 1936.)

Die Tiefenverteilung der Energieabsorption von Kathodenstrahlen in Aluminium.

(Vorläufige Mitteilung.)

Von Konrad Gentner und Walter Rollwagen.

Glocker, Kugler und Langendorff[1]) haben quantitative Angaben über die Energieabgabe von Elektronen in der Tiefe durchstrahlten Schichten gemacht. Untersuchungen von Lange und Brasch[2]) ergaben, daß sehr schnelle parallele Kathodenstrahlen, auf Materie aufgeschossen, in ungefähr ein Drittel ihrer Reichweite einen maximalen Energieverlust erleiden. Glocker[3]) hat diese Ergebnisse unter Zugrundelegung der Messungen von Schonland[4]) rechnerisch verfolgt und gezeigt, daß diese Erscheinung auch theoretisch erklärt werden kann. Seine Lösung ist halb empirisch, da nicht alle notwendigen Größen experimentell bekannt waren. Wir stellten uns die Aufgabe, diesen Verlauf der Energieabsorption in *Al* für parallel auftreffende Kathodenstrahlen rein experimentell zu bestimmen. Dazu ist notwendig, den Energieverlust der Elektronen in jedem Schichtelement zu messen, und zwar ist zu trennen in den Anteil, der seine Geschwindigkeit vollständig verliert und damit aus dem Strahl ausscheidet (Lenards echte Absorption), und in den Anteil, der aus dem Schichtelement mit verminderter Geschwindigkeit noch herauskommt, und zwar sowohl in Vorwärts- wie in Rückwärtsrichtung (Energieverlust der durchdringenden und rückdiffundierenden Elektronen).



1) R. Glocker, G. A. Kugler und H. Langendorff, Strahlentherapie **51**, 129, 1934.
2) A. Brasch und F. Lange, Strahlentherapie **51**, 119, 1934.
3) R. Glocker, Physik. Zeitschr. **35**, 774, 1934.
4) B. F. Schonland, Proc. Roy. Soc. A, **108**, 187, 1925.

Der ganze Streuraum der Apparatur befand sich in einem homogenen, transversalen Magnetfeld. Die parallelen Kathodenstrahlen von 25,6 kV trafen magnetisch geschützt auf die Folie. Die Gesamtzahl der durchgehenden und rückdiffundierenden Elektronen für verschiedene Schichtdicken wurde mit feststehenden Faraday-Käfigen gemessen. Die Raumwinkelverteilung der Zahl und der Geschwindigkeit der Elektronen wurde mit einem Drehkäfig erfaßt.

Die umfassenden und sehr zahlreichen Messungen an *Al*-Folien von 1–7 μ Dicke ergaben ein ganz ähnliches Verhalten der Energieabsorption auch für diese kleinen Geschwindigkeiten von 25,6 kV, wie es für die sehr schnellen Kathodenstrahlen von 1600 kV gefunden wurde. Der Verlauf der Energieabsorption ist aus der Figur ersichtlich; er wurde aus Schichtelementen der Dicke 0,5 μ ermittelt. Die zum Vergleich eingezeichnete berechnete Kurve von Glocker ist auf gleiche Energiegröße im Maximum der Kurve bezogen. Die Differenz in der Lage der Maxima ergibt sich durch eine etwas verschiedene Definition der Reichweite.

Einzelheiten der Anordnung und die zu dem genannten Ergebnis führenden Messungen werden in der Dissertation K. Gentner mitgeteilt.

München, Physikalisches Institut der Universität, Januar 1936.

(Eingegangen 20. Januar 1936.)

BESPRECHUNGEN.

E. U. Condon and G. H. Shortley, The Theory of Atomic Spectra. 8°. XIV und 442 S. Mit 70 Fig. Cambridge 1935. Cambridge University Press. 42 s.

In diesem Buche haben zwei anerkannte theoretische Physiker es unternommen, eine vollständig auf dem Boden der Quantenmechanik stehende Darstellung der Theorie der Atomspektren zu geben, dabei haben sie die in den letzten Jahren erschienenen Arbeiten, die quantenmechanisch die verschiedensten Probleme der Spektroskopie behandeln, zu einem einheitlichen Ganzen zusammengeschweißt, und zwar benutzen sie die Diracsche Formulierung der quantenmechanischen Gesetze.

Den Verfassern sei für diese Mühe und Arbeit gedankt, sie haben durch ihre Darstellung das Verständnis mancher schwer verständlichen Spezialarbeit bedeutend erleichtert. Für den forschenden Experimentalphysiker, der die Theorie kaum bis in alle Details verfolgen kann, sind eine große Anzahl Tabellen und graphischer Darstellungen beigegeben, die ihn erkennen lassen, welcher Art die Beziehungen sind, die für die Theorie wichtig sind. Vor allen Dingen ist außer der Darstellung der Einelektronenspektren auch alles das gebracht, was bisher über die Mehrelektronenspektren bekannt ist. Das ist besonders angenehm, z. B. für die Auswertung der Hyperfeinstrukturbeobachtungen, welche ja eine möglichst genaue Kenntnis der elektrischen und magnetischen Felder der äußeren Elektronen am Orte des Kernes voraussetzen, wenn man zu exakten Aussagen über den Atomkernmechanismus gelangen will.

Zu erwähnen ist auch die geschlossene quantenmechanische Darstellung von Starkeffekt und Zeemaneffekt.

Das Studium des Buches sei jedem Atomphysiker empfohlen. H. Schüler.

E. Kleinschmidt, Handbuch der meteorologischen Instrumente und ihrer Auswertung. Gr.-8°. XV u. 733 S. Mit 463 Abb. Berlin 1935. J. Springer. RM 69.—, geb. RM 72.—.

Es fehlte bisher an einer ausführlichen zusammenfassenden Darstellung der in den verschiedenen Zweigen der Meteorologie angewandten Instrumente und Meßmethoden. Das Handbuch wird deshalb allerseits mit größtem Interesse aufgenommen werden und dürfte sich als ein unentbehrliches Nachschlagewerk für jeden experimentell arbeitenden Meteorologen erweisen.

Zur Bearbeitung der einzelnen Kapitel hat der Herausgeber 11 Mitarbeiter herangezogen, die größtenteils an der Entwicklung der meteorologischen Instrumente und Meßmethoden hervorragenden Anteil haben und durchweg über eine bedeutende Meßerfahrung in den von ihnen behandelten Sondergebieten verfügen.

Im ersten Kapitel behandelt W. Grundmann die Temperaturmeßgeräte. Neben den Quecksilber- und Flüssigkeitsthermometern, deren Fehlerquellen und Anwendungsformen eingehend erörtert werden, finden für die Registrierung hauptsächlich Deformationsthermometer ausgedehnte Verwendung. Für Feinmessungen werden vor allem Widerstandsthermometer und Thermoelemente benutzt. In der meteorologischen Meßpraxis ist auf die Vermeidung von Strahlungseinflüssen zu achten und die Trägheit der Instrumente zu berücksichtigen. Da durchweg Relativinstrumente Verwendung finden, sind auch die wichtigsten Prüfmethoden beschrieben worden.

Der zweite Teil befaßt sich mit den Meßgeräten der Sonnen- und Himmelsstrahlung. W. Kühl behandelt die photometrischen, F. Albrecht die kalorimetrischen Meßmethoden und die Sonnenscheinautographen. Aus dem ersten Abschnitt seien vor allem die Ausführungen über die lichtelektrischen Photometer hervorgehoben. Auf dem Gebiete der kalorimetrischen Meßmethoden sind in letzter Zeit eine Reihe von neuen Instrumenten

entwickelt worden. Nicht berücksichtigt sind die Methoden zur Bestimmung des Ozongehaltes der Atmosphäre.

Über die Messung der Luftfeuchtigkeit und Verdunstung berichtet M. Robitzsch, der die gebräuchlichen Maßsysteme und die Theorie sowie die Ausführungsformen der auf thermodynamischer Grundlage wirksamen Meßinstrumente erörtert. Den in der Meteorologie vor allem für die Zwecke der Registrierung unentbehrlichen Haarhygrometern ist von W. Grundmann ein eigener Abschnitt gewidmet.

Das vierte Kapitel beschäftigt sich mit der Messung der Kondensationskerne und der Kondensationsprodukte. K. Kähler behandelt kurz die Bestimmung der in der Atmosphäre vorhandenen festen Teilchen, Staub und Ruß, sowie die Messung der Kondensationskerne. Über die Untersuchung der Elemente der Wolken und des Regens berichtet F. Albrecht, und von E. Kleinschmidt werden die Methoden und Schwierigkeiten der Niederschlagsmessung besprochen.

Die nächsten Kapitel beschäftigen sich mit der Luftdruckmessung (E. Kleinschmidt) und mit der Windmessung in Bodennähe (J. Grunow), wobei F. Albrecht in einem Anhang die elektrischen Windmeßgeräte behandelt.

Einen sehr breiten Raum, mehr als ein Viertel des gesamten Handbuches, nehmen die aerologischen Meßmethoden ein, die in neun Abschnitten von fünf Autoren dargestellt werden. Zweifellos gewinnen gerade diese Methoden infolge der raschen Entwicklung des Flugwesens und der wachsenden Erkenntnis von dem Einfluß der Vorgänge in der freien Atmosphäre auf die Wetterentwicklung immer mehr an Bedeutung.

Über die Meteorographen und deren Eichung berichtet E. Kleinschmidt, während M. Robitzsch die Auswertungsmethoden und die Bearbeitung der Aufstiegsergebnisse behandelt. Technik der Gummiballone und Windmessung mittels Pilotballonen werden von J. Reger dargestellt. Es folgen Abschnitte über Drachen- und Fesselballonaufstiege von Land aus (W. Kopp) und vom Schiffe aus (E. Kleinschmidt) und über die neuerdings besonders aktuellen Flugzeugaufstiege (W. Kopp). Besonderes Interesse dürfte der Abschnitt über das noch durchaus in der Entwicklung begriffene Gebiet der meteorologischen Fernmessung (P. Duckert) begegnen. Ein letzter Abschnitt ist der Wolkenmessung gewidmet (R. Süring).

Den Schluß bilden zwei Kapitel über Luftelektrizität (K. Kähler) und über Meßgeräte der atmosphärischen Optik und Akustik (Ch. Jensen, K. Kähler und W. Kühl). Unter der atmosphärischen Optik sind im speziellen die Instrumente zur Messung des Polarisationszustandes und die Sichtmesser behandelt.

Dem Buch ist ein kurzer Tabellenanhang und ein Sachverzeichnis beigegeben. Eine große Anzahl kürzerer Tabellen findet sich im Text.

Das Handbuch ist das umfassendste Werk über den gegenwärtigen Stand des meteorologischen Instrumentariums. Es dürfte sich auch für den Physiker, der sich über meteorologische Meßmethoden unterrichten will, als wertvolles und zuverlässiges Nachschlagewerk erweisen.

P. Mildner.

F. Trendelenburg, Klänge und Geräusche. 8°. VIII u. 235 S. Mit 154 Abbildungen. Berlin 1935. Jul. Springer. RM 24.—, geb. RM 25,80.

Der Verfasser stellt sich die ausgezeichnet gelöste Aufgabe, die über Klänge und Geräusche erschienenen Arbeiten zu einem Werk zu verschmelzen, das ein wichtiges Gebiet der modernen Akustik zum erstenmal erschöpfend behandelt. Das Buch beginnt mit zwei Abschnitten über die akustischen Grundbegriffe und über die Untersuchungsmethoden. Hierdurch wird es jedem, der einige physikalische Kenntnisse hat, möglich gemacht, sich über die gegebenen Grenzen bei den in den folgenden Abschnitten beschriebenen Untersuchungen ein genaues Bild zu machen. Da das Buch auch eine umfassende Literaturübersicht enthält, dürfte es für denjenigen, der sich näher mit der Akustik der Klänge und Geräusche befassen will, eine sichere Grundlage bilden. Im einzelnen werden folgende Fragen behandelt: Erzeugung, spektrale Verteilung, zeitlicher Verlauf, Intensität und Richtwirkung der Sprachklänge; Klänge von Musikinstrumenten: hier werden besonders die Klangfarben der Instrumente mit ihren Klangspektren in Verbindung gebracht; Geräusche: dabei stehen Verkehrslärmbekämpfung und medizinische Diagnose im Vordergrund; Klangsynthese und elektrische Musik; subjektive Wahrnehmung von Schall: in diesem Abschnitt werden die wichtigen physiologischen Fragen behandelt; schließlich ein Abschnitt über Sonderfragen der Klangwiedergabe, in dem die besonders schwer zu erfassenden Einflüsse von Verzerrungen und Raumakustik auf die naturgetreue Klangwiedergabe beschrieben werden. Erwähnt werden muß noch das ausgezeichnete Bildermaterial, das den sehr klaren Text gut ergänzt.

H. Ramm.

NACHRICHTEN.

Ernannt: Der a.o. Professor für höhere Geodäsie, Katasterkunde und Trigonometrie an der Technischen Hochschule Dresden Dr. Otto Oesterhelt zum ord. Professor ebenda, der Dozent an der Universität Berlin Dr. Walther Bolz zum ord. Professor für Röntgenkunde an der Universität Gießen, der Dozent an der Universität Helsinki Dr. Väinö Ilmari Sihvonen zum ord. Professor für physikalische Chemie und Elektrochemie an derselben Hochschule.

In den Ruhestand: Der ord. Professor der organischen Chemie an der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Stefan Goldschmidt, der a.o. Professor für Physik an der Technischen Hochschule München Dr. Karl Tobias Fischer, der ord. Professor für analytische Chemie an der Universität Erlangen Dr. Ferdinand Henrich, der ord. Professor der Biochemie und landwirtschaftlichen Technologie an der Universität Breslau Dr. Felix Ehrlich.

Gestorben: Der frühere ord. Professor für Geodäsie und Topographie an der Technischen Hochschule München Geheimer Rat Dr. Max Schmidt, der frühere Hauptkonservator am Laboratorium für angewandte Chemie der Universität Würzburg Professor Dr. H. Bauch.

Verantwortlicher Schriftleiter: Professor Dr. Dr. h. c. P. Debye, Leipzig. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C 1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig. — DA. IV. Vj. 1935: 1400. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany.